552.8
R72m5
v. 1, pt. 13

H. ROSENBUSCH

MIKROSKOPISCHE PHYSIOGRAPHIE

DER MINERALIEN UND GESTEINE

EIN HILFSBUCH BEI
MIKROSKOPISCHEN
GESTEINSSTUDIEN

Bd. I, ERSTE HÄLFTE:

DIE PETROGRAPHISCH WICHTIGEN MINERALIEN

UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Fünfte völlig umgestaltete Auflage von

Dr. E. A. WÜLFING
Geh. Hofrat, o. Professor der Mineralogie und Petrographie
an der Universität Heidelberg

---

3. LIEFERUNG

Mit Tafel IV—XV und 139 Textfiguren

STUTTGART
E. SCHWEIZERBART'SCHE VERLAGSBUCHHANDLUNG
(ERWIN NÄGELE) G. m. b. H.
1924

Printed in Germany

Einbanddecke

Nach nunmehr erfolgtem Abschluss der I. Hälfte es I. Bandes dieses Werkes haben wir zu demelben eine Einbanddecke geschmackvoll halbranz anfertigen lassen, welche wir Interessenten um Preise von Gm. 4.20 zur Verfügung halten.

Die Verlagsbuchhandlung.

Anweisung für den Buchbinder

Bei einem Zusammenbinden der 3 Lieferungen von Rosenbusch-Wülfing, Mikroskop. Physiographie d. Mineralien I/1 sind von der 1. Lieferung die Seiten I—IV und XIII—XVI, von der 2. Lieferung die Seiten I—IV zu entfernen und durch die Seiten I—IV und XIII—XXIV der 3. Lieferung zu ersetzen. Die Tafeln I—XV werden zwischen die Seiten 816 und 817 eingeheftet, das Register kommt also an das Ende des Buches.

Die Verlagsbuchhandlung.

MIKROSKOPISCHE
PHYSIOGRAPHIE
DER
MINERALIEN UND GESTEINE

EIN HILFSBUCH BEI
MIKROSKOPISCHEN GESTEINSSTUDIEN

BEGRÜNDET VON

H. ROSENBUSCH
(† 1914)

BAND I

DIE PETROGRAPHISCH WICHTIGEN MINERALIEN

FÜNFTE, NEU BEARBEITETE AUFLAGE

ERSTE HÄLFTE: UNTERSUCHUNGSMETHODEN
VON
E. A. WÜLFING

ZWEITE HÄLFTE: SPEZIELLER TEIL
VON
O. MÜGGE

E. SCHWEIZERBART'SCHE VERLAGSBUCHHANDLUNG
(ERWIN NÄGELE) G. m. b. H. STUTTGART
1924

LIBRARY
UNIVERSITY OF ILLINOIS
URBANA

MIKROSKOPISCHE PHYSIOGRAPHIE

DER

PETROGRAPHISCH WICHTIGEN MINERALIEN

BEGRÜNDET VON

H. ROSENBUSCH
(† 1914)

BAND I. ERSTE HÄLFTE

UNTERSUCHUNGSMETHODEN

FÜNFTE, VÖLLIG UMGESTALTETE AUFLAGE

VON

Dr. E. A. WÜLFING
GEH. HOFRAT, o. PROFESSOR DER MINERALOGIE UND
PETROGRAPHIE AN DER UNIVERSITÄT HEIDELBERG

MIT TAFEL I—XV UND 680 TEXTFIGUREN

E. SCHWEIZERBART'SCHE VERLAGSBUCHHANDLUNG
(ERWIN NÄGELE) G. m. b. H. STUTTGART
1921/24

LIBRARY
UNIVERSITY OF ILLINOIS
URBANA

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung, vorbehalten.
Copyright 1924 by E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Erwin Nägele) G. m. b. H. Stuttgart.

Printed in Germany.
Druck der Hoffmannschen Buchdruckerei Felix Krais Stuttgart.

552.8
R72m5
v.1
pt.1
LIBRARY
UNIVERSITY OF ILLINOIS
URBANA
A. Mem 15 Je 27

Nachwort zur fünften Auflage.

Wenn eine Arbeit abgeschlossen ist, merkt man erst, was ihr fehlt. Wie groß muß dieses Gefühl der Unzulänglichkeit in dem vorliegenden Falle sein, da einerseits die vorwärtsstürmende Entwicklung der petrographischen Wissenschaft, andererseits die uns mangelnde ausländische Literatur ein Schritthalten erschwert oder gar unmöglich macht. Von der fehlenden Literatur hier zu sprechen, erübrigt sich; von der Entwicklung der Petrographie während des vergangenen halben Jahrhunderts wird man aber aus dem Vergleich der Umfänge des allgemeinen Teils der Physiographie in den bisherigen fünf Auflagen einen Begriff erhalten können, hat sich dieser allgemeine Teil doch ausgedehnt

1873	in	der	1.	Auflage	über	111	Seiten	mit	62 Textfiguren,
1885	„	„	2.	„	„	238	„	„	85 „
1892	„	„	3.	„	„	272	„	„	97 „
1904	„	„	4.	„	„	467	„	„	286 „
1921/24	„	„	5.	„	„	848	„	„	680 „ .

Unter sotanen Umständen muß ich leider den Schlußabsatz im Vorwort zur ersten Lieferung noch als zu Recht bestehend gelten lassen und die Leser erneut um Nachsicht bitten, wenn mein Streben nach Vollständigkeit nicht erfolgreicher war.

Es bleibt mir noch zum Schluß die angenehme Pflicht, Herrn Dr. Emil Ernst für seine umsichtige und nie erlahmende assistierende Tätigkeit bei der Fertigstellung der 2. und 3. Lieferung dieses Werkes zu danken. Die zahlreichen neuen geometrischen Figuren sind von ihm nach meinen Entwürfen ins Reine gezeichnet worden. Auch leistete er mir bei Abfassung des umständlichen, sich über 2300 Stichworte erstreckenden Autoren- und Sachregisters wertvolle Hilfe. Ebenso habe ich ihm sowohl wie Herrn Geh. Bergrat Prof. Dr. H. Bücking für das sorgfältige Lesen der Korrekturen herzlich zu danken.

Endlich fühle ich mich gedrungen, die Bereitwilligkeit meines Herrn Verlegers bei der sicherlich nicht leichten Drucklegung und Illustrierung, sowie das Entgegenkommen einiger optischer Firmen, die einzeln an vielen Stellen des Textes aufgeführt sind, in der Lieferung passender Druckstöcke mit besonderer Anerkennung hervorzuheben.

Heidelberg, im Juli 1924.

E. A. Wülfing.

582572

LIBRARY
UNIVERSITY OF ILLINOIS
URBANA

Inhalt.

Seite

Vorworte V
Abkürzungen XII
Nachwort XIII
Inhaltsübersicht . . . . . XV—XXIV

Einleitung.

1. Begriff der mikroskopischen Physiographie 1
2. Methodisches Arbeiten 1
3. Gliederung des Stoffes 3

Erster Teil.

Präparationsmethoden.

4. Spaltmörser und Schlagnadeln 4
5. Steinschneidemaschine (und Quetschmaschine) 6
6. Herstellung von Dünnschliffen 11
7. Präparation loser Massen 22
8. Dünnschliffe von Mineralpulver 24
9. Dünnschliffe von Salzgesteinen 25
10. Orientierte Schliffe 26
11. Ebene und polierte Flächen 35

Zweiter Teil.

Optische Untersuchungsmethoden.

Erste Abteilung.

Grundvorstellungen der Kristalloptik.

Erstes Kapitel.

Allgemeines.

12. Lichttheorien 41
13. Einige Definitionen 45
14. Einteilung der Kristalle nach ihren optischen Eigenschaften 48

Zweites Kapitel.

Isotrope Kristalle ohne Zirkularpolarisation.

15. Lichtausbreitung 52
16. Reflexion, Brechung, Totalreflexion 52
17. Huygenssche Konstruktion bei Reflexion und Brechung 54
18. Absoluter und relativer Brechungsindex 57

Seite

19. Weißes Licht und einfarbiges Licht 58
20. Refraktionskonstante 61
21. Brechungsindizes von Mischungen 65
22. Molekular- und Atomrefraktion 68

Drittes Kapitel.

Anisotrope Kristalle ohne Zirkularpolarisation.

Erster Abschnitt.

Optisch einachsige Kristalle ohne Zirkularpolarisation.

23. Huygens und die Lichtbewegung im Kalkspat 74
24. Doppelbrechung 76
25. Polarisiertes Licht 79
26. Polarisationsebene, Schwingungsebene und Schwingungsrichtung 84
27. Doppelschalige Flächen der Lichtausbreitung 86
    a) Strahlengeschwindigkeitsfläche 86
    b) Wellengeschwindigkeitsfläche 87
    c) Indexfläche 91
28. Doppelschalige und einschalige Flächen 93
    a) Strahlengeschwindigkeitsfläche und Fresnelsches Ellipsoid 93
    b) Wellengeschwindigkeitsfläche und Ovaloid 94
    c) Indexfläche und Indexellipsoid (Indikatrix) 95
29. Übersicht der sechs Bezugsflächen einachsiger Kristalle 97
30. Optische Charakteristik einachsiger Kristalle 102

Zweiter Abschnitt.

Optisch zweiachsige Kristalle ohne Zirkularpolarisation.

31. Historisches 103
32. Doppelschalige Flächen der Lichtausbreitung zweiachsiger Kristalle und ihre Beziehungen zu einschaligen Flächen 103
    a) Strahlengeschwindigkeitsfläche und dreiachsiges Fresnelsches Ellipsoid . 104
    b) Wellengeschwindigkeitsfläche und dreiachsiges Ovaloid 107
    c) Indexfläche und dreiachsiges Indexellipsoid (Indikatrix) 108
33. Schwingungsebenen beliebiger Wellennormalen zweiachsiger Kristalle (Hauptschnitte, Fresnelsche Konstruktion) 113
34. Lichtausbreitung in beliebiger Richtung 115
35. Strahlenachsen und optische Achsen 116
36. Achsenwinkel und Brechungsindizes 119
37. Einteilung der optisch zweiachsigen Kristalle nach Kristallsystemen . . . 122
38. Übersicht der sechs Bezugsflächen zweiachsiger Kristalle 123
39. Optische Charakteristik zweiachsiger Kristalle 126

Viertes Kapitel.

Kristalle mit Zirkularpolarisation.

40. Zirkularpolarisation 126

Seite

Fünftes Kapitel.

Interferenzerscheinungen.

Erster Abschnitt.

Allgemeines.

41. Newtonsche Farben 127
42. Abweichung der Interferenzfarben der Kristalle von den reinen Newtonschen Farben. Dispersion der Doppelbrechung 133
43. Grundlagen zur Beobachtung der Interferenzerscheinungen. Fresnel-Aragosche Gesetze. Paralleles und konvergentes Licht 137

Zweiter Abschnitt.

Interferenzerscheinungen im parallelen polarisierten Licht.

44. Isotrope Körper 139
45. Anisotrope Körper 140
46. Analytische Darstellung der Lichtbewegung 142
47. Fresnelsche Formel und ihre Diskussion 144
48. Anisotrope Kristalle senkrecht zu einer optischen Achse 152
49. Mehrere übereinander liegende anisotrope Blättchen 154
50. Anisotrope Zwillingskristalle 156

Dritter Abschnitt.

Interferenzerscheinungen im konvergenten polarisierten Licht.

51. Vorbemerkungen 159
52. Isochromatische Flächen oder Flächen gleichen Gangunterschiedes 160
53. Isogyren oder Kurven gleicher Schwingungsrichtung 172
54. Einachsige Kristalle senkrecht zur optischen Achse 176
55. Einachsige Kristalle sehr schief bzw. parallel zur optischen Achse 180
56. Zweiachsige Kristalle senkrecht zur spitzen und zur stumpfen Bisektrix . . 181
57. Zweiachsige Kristalle senkrecht zu einer optischen Achse 185
58. Zweiachsige Kristalle parallel zur Ebene der optischen Achsen 187
59. Zweiachsige Kristalle in mäßig schiefen Schnitten allgemeinster Lage . . . 187
60. Dispersion der optischen Achsen im rhombischen System 189
61. Dispersion der optischen Achsen im monoklinen System 191
62. Dispersion der optischen Achsen im triklinen System 194

Sechstes Kapitel.

Erscheinungen der Absorption.

63. Farbe der Mineralien 194
64. Pleochroismus 196
65. Pleochroismus einachsiger Kristalle 198
66. Pleochroismus zweiachsiger Kristalle 199
67. Absorptionsbüschel 200

Seite

68. Pleochroismus und Interferenzerscheinungen 204
69. Pleochroitische Höfe 206
70. Künstlicher Pleochroismus 209
71. Lumineszenz 210

Siebtes Kapitel.

Änderung der optischen Eigenschaften durch äußere Einflüsse.

72. Optische Anomalien 212
73. Änderung des optischen Verhaltens mit der Temperatur 216

Zweite Abteilung.

Herstellung von polarisiertem Licht.

74. Allgemeines 218
75. Nicolsches Prisma 222
76. Hartnack-Prazmowskisches und Thompsonsches Prisma 227
77. Foucaultsches und Glansches Prisma 234
78. Bertrandsche und andere Prismen 236
79. Schwingungsrichtung eines polarisierenden Prismas 238

Dritte Abteilung.

Herstellung von einfarbigem Licht.

80. Lichtfilter 239
81. Monochromatische Flammen 242
82. Plückersche Wasserstoffröhre und Quecksilberbogenlampe 244
83. Monochromator 246

Vierte Abteilung.

Einiges aus der geometrischen Optik (Linsenoptik).

84. Vorbemerkungen und allgemeine Literatur 253
85. Linsen und ihre Teile 254
86. Beleuchtungsverhältnisse bei Linsen 257
87. Einfache Brechungsvorgänge an dünnen Linsen 259
88. Die fundamentale Linsenformel 263
89. Brennweite dünner Linsen 267
90. Gesamtbrennweite von zwei dünnen Linsen 269
91. Dicke Linsen, Gaußsche Hauptebenen und Äquivalentbrennweite 271
92. Die Ermittlung der Brennweite und der Äquivalentbrennweite 281
93. Öffnung der Linsen, Lichtstärke und numerische Apertur 286
94. Abbildung durch weitgeöffnete Strahlenbüschel 287
    a) Zentrale sphärische Aberration 289
    b) Zonare sphärische Aberration (Sinusbedingung) 294

Seite

c) Astigmatismus 298
d) Krümmung der Bildebene 299
e) Verzeichnung des Bildes (Distorsion oder Anorthoskopie) 299
95. Chromatische Abweichung 300

Fünfte Abteilung.

Die optischen Instrumente.

Erstes Kapitel.

Die Lupe und ihre Anwendung.

96. Strahlengang in der Lupe 305
97. Verschiedene Lupen 310

Zweites Kapitel.

Das Mikroskop und seine Anwendung.

Erster Abschnitt.

Das Mikroskop.

98. Historischer Rückblick auf die Entwicklung des Polarisationsmikroskops . 318
99. Strahlengang im Mikroskop 322
100. Theorie der sekundären Abbildung 326
101. Objektive 339
102. Bestimmung der numerischen Apertur 351
103. Okulare 358
104. Beleuchtungsvorrichtungen 366
105. Die ältesten Typen des Polarisationsmikroskops 381
106. Moderne Polarisationsmikroskope 386
107. Erhitzungsmikroskope 404
108. Einige mikroskopische Hilfsapparate 412
109. Herrichtung des Mikroskops zum Gebrauch 427
110. Bestimmung der Vergrößerung 434

Zweiter Abschnitt.

Messung von Längen, Flächen und Winkeln mit dem Mikroskop.

111. Messung von Längen 436
112. Messung von Flächeninhalten 442
113. Messung ebener Winkel 446
114. Messung räumlicher Winkel durch Raumkoordinaten 449
115. Messung räumlicher Winkel nach Bertrand 453

Seite

116. Messung räumlicher Winkel durch Reflexion 455
1. Schimmermessungen 455
2. Messungen mit Fedorowscher Autokollimation 456
3. Fernrohrmessungen bei geringer Vergrößerung 456
117. Drehapparate zur Orientierung von Kristallen und einkreisige Goniometer für Mikroskope 458
118. Zwei- und mehrkreisige Goniometer für Mikroskope 461

Dritter Abschnitt.

Bestimmung der Auslöschungsschiefe.

119. Literatur und Allgemeines 464
120. Herrichtung des Mikroskops zur Bestimmung der Auslöschungsschiefe . . 467
121. Einstellung auf Dunkelheit und auf Interferenzbild 474
122. Einstellung auf Farbe 476
123. Die Bravaissche und Soleilsche Doppelplatte, sowie ihre Abarten 478
124. Halbschattenvorrichtungen 481
125. Genauigkeit der stauroskopischen Methoden 485
126. Berechnung der Auslöschungsschiefe aus der Lage der optischen Achsen . 487

Vierter Abschnitt.

Die Universalmethode von Fedorow.

127. Literatur 498
128. Die Theorie der Fedorowschen Methode 499
129. Das Fedorowsche Diagramm der Feldspatzwillinge 504
130. Das Fedorowsche Mikroskop 514
131. Herrichtung des Fedorowschen Mikroskops 521
132. Ausführung der Fedorowschen Methode 527

Fünfter Abschnitt.

Bestimmung der Lichtbrechung.

133. Die Methode des Herzogs von Chaulnes 533
134. Abänderungen des Chaulnesschen Verfahrens 536
135. Die Chaulnes-Sorbysche Methode 537
136. Die Einbettungsmethode 541
137. Die Beckesche Methode 554
138. Anwendungsgebiet der Beckeschen Methode 560
139. Erweiterung der Beckeschen Methode 562
140. Chagrin und Relief der Mineralien im Dünnschliff 564

Sechster Abschnitt.

Bestimmung der Doppelbrechung.

141. Allgemeines 566
142. Die Michel-Lévysche Farbentafel 566
143. Der Babinetsche Kompensator 567
144. Der Michel-Lévysche Comparateur 578
145. Verschiedene Methoden zur Messung der Doppelbrechung 580

Seite

Siebter Abschnitt.

Bestimmung des optischen Charakters im parallelen Licht.

146. Allgemeines 583
147. Gipsblatt vom Rot erster Ordnung 584
148. Biotscher Drehquarz und Wrightscher Kombinationskeil 586
149. Gips- (und Quarz-)Keil 588
150. Verwendung des Babinetschen Kompensators zur Bestimmung des optischen Charakters 590
151. Optischer Charakter einer Zone und optischer Charakter eines Minerals . . 590

Achter Abschnitt.

Untersuchung auf Farbe und Pleochroismus bei durchsichtigen Mineralien. Untersuchung undurchsichtiger Mineralien.

152. Farbe der durchsichtigen Mineralien 591
153. Untersuchung auf Pleochroismus 594
154. Untersuchung undurchsichtiger Mineralien 596

Drittes Kapitel.

Achsenwinkelapparat, Konoskop und deren Anwendung.

Erster Abschnitt.

Die Verwendung der Erscheinungen im konvergenten Licht zur Diagnose.

155. Allgemeines 600
156. Achsenpräparate senkrecht zur spitzen oder senkrecht zur stumpfen Bisektrix . 601
157. Achsenpräparate schief zu einer Bisektrix (Methode Kirchhoff) 605
158. Beobachtung der einzelnen Achsen auf verschiedenen Flächen (Methode Tschermak und Methode Wülfing) 607

Zweiter Abschnitt.

Achsenwinkelapparat und Konoskop.

159. Der Fernrohrstrahlengang bei Beobachtung der Interferenzerscheinungen im konvergenten Licht 611
160. Achsenwinkelapparat 615
161. Konoskop 617
162. Umwandlung des Mikroskops zum Konoskop 619
163. Die Vorzüge des aus dem Mikroskop hervorgehenden Konoskops 624
164. Messungen mittelst des Konoskops 626
165. Die Beckesche Methode 636

Dritter Abschnitt.

Bestimmung des optischen Charakters im konvergenten Licht.

166. Allgemeines 639
167. Anwendung des Glimmer- und Gipsblattes bei einachsigen Kristallen . . . 641
168. Anwendung des Glimmer- und Gipsblattes bei zweiachsigen Kristallen . . 645
169. Anwendung des Gips- (Quarz-)Keils 647

Seite

Viertes Kapitel.

Das Totalreflektometer und seine Anwendung.

170. Totalreflektometer für mineralogisch-petrographische Zwecke 649
171. Die Herrichtung des Totalreflektometers zum Gebrauch 653
172. Die Ausführung der Messung und die Beleuchtung am Totalreflektometer . 656
173. Der Strahlengang bei der Totalreflexion in doppelbrechenden Medien . . 659

Dritter Teil.

Untersuchung auf Kohäsion und Dichte.

Erste Abteilung.

Spaltbarkeit und Härte.

174. Spaltbarkeit 661
175. Härte 664

Zweite Abteilung.

Dichte.

Erstes Kapitel.

Theoretisches.

176. Definitionen 667
177. Die Dichte von isomorphen Mischungen 669

Zweites Kapitel.

Methoden zur Bestimmung der Dichte.

178. Die hydrostatische Wage 673
179. Das Volumenometer 673
180. Das Pyknometer 677
181. Die Suspensionsmethode (Schwebemethode) 678
182. Schwere Flüssigkeiten 685
183. Schwere Schmelzen 693
184. Suspensionsmethode mit Schwimmer 695

Vierter Teil.

Trennungsmethoden.

185. Vorbehandlung 700
186. Trennung durch Wasser (Schlämmanalyse) 701
187. Trennung durch schwere Flüssigkeiten 706
188. Einfache Trennungsapparate 708
189. Feinere Trennungsapparate 710

Seite
190. Trennungsapparate mit Wiederholung 712
191. Trennungsapparate für schwere Schmelzen 717
192. Grenzen der Anwendbarkeit der Trennungsmethoden durch schwere Lösungen und Schmelzen 718
193. Trennung durch den Magneten 719
194. Trennung auf elektrostatischem Wege 725
195. Trennung auf chemischem Wege 726
196. Trennung durch Aussuchen 728

Fünfter Teil.

Chemische Methoden.

Erste Abteilung.

Chemische Untersuchungen am Dünnschliff.

197. Allgemeines 729
198. Herrichtung der Dünnschliffe zu chemischen Untersuchungen 732
199. Prüfung der Dünnschliffe auf Löslichkeit 733
200. Prüfung der Dünnschliffe auf Gelatination. Farbreaktionen 734
201. Niederschlagsreaktionen an Dünnschliffen 738
202. Ätzfiguren 739
203. Das Glühen von Dünnschliffen 740

Zweite Abteilung.

Die mikrochemischen Reaktionen.

204. Allgemeines 742
205. Einzelreaktionen 747

Sechster Teil.

Morphologisches.

Erste Abteilung.

Bildung der Kristalle.

206. Vorgang bei dem Wachstum der Kristalle 762
207. Einfache Kristalle im Dünnschliff 764
208. Zwillinge im Dünnschliff 765
209. Gestörte Kristallisation 768
210. Globulite und ihre Häufungsformen 769
211. Trichite 773
212. Mikrolithe 774
213. Schaliger Bau. Zonare Struktur 774
214. Anwachspyramiden (Anwachskegel). Sanduhrformen 775

Seite

Zweite Abteilung.

Einschlüsse.

215. Art der Einschlüsse 776
216. Gaseinschlüsse 777
217. Flüssigkeitseinschlüsse 778
218. Optische Erscheinungen bei Gas- und Flüssigkeitseinschlüssen 779
219. Brownsche Molekularbewegung 781
220. Entstehung der Gas- und Flüssigkeitseinschlüsse 783
221. Glaseinschlüsse 784
222. Individualisierte Einschlüsse 785
223. Räumliche Anordnung der Einschlüsse 786
224. Stoffliche Natur der Einschlüsse 788
225. Einschlüsse von Wasser, sowie flüssiger und gasförmiger Kohlensäure . . 788
226. Die in den Wassereinschlüssen gelösten und ausgeschiedenen Bestandteile . 794

Dritte Abteilung.

Aggregate.

227. Einteilung der Aggregate 797
228. Regellose Aggregate 798
229. Sphärolithe 798
230. Sphärokristalle 801
231. Granosphärite 804

Vierte Abteilung.

Deformationen.

232. Mechanische Deformationen 805
233. Chemische Deformationen 806

Anhang.

Tabelle der Brechungsindizes 810
Tabelle der Doppelbrechungen 812
Tabelle der Dichten 814
Tafeln I—XV, zwischen Tabellen und Register
Autoren- und Sachregister 817
Berichtigungen und Nachträge 847

Fünfter Abschnitt.

Bestimmung der Lichtbrechung.

In den folgenden Paragraphen 133—140 werden die Bestimmungen der Lichtbrechung, wie man sie mit dem Mikroskop ausführt, erläutert. Über die Bestimmungen mit dem Totalreflektometer handeln die Paragraphen 170—173 im vierten Kapitel.

133. Die Methode des Herzogs von Chaulnes. Unter den mikroskopischen Methoden zur Bestimmung der Lichtbrechung ist zuerst die schon 1767 beschriebene [1]) Chaulnessche Methode zu nennen. Sie verlangt zur Beobachtung planparallele Blättchen und wird folgendermaßen ausgeführt. Man stellt das Mikroskop auf ein Objekt scharf ein und schiebt alsdann zwischen dieses Objekt und das Objektiv das Blättchen, z. B. eine Glasplatte, ein. Der zuvor deutlich sichtbare Gegenstand ist jetzt nur noch undeutlich oder überhaupt nicht mehr zu erkennen. Erst nach einer gewissen Hebung des Mikroskoptubus sieht man das Objekt wieder scharf. Das Maß der Hebung ist abhängig von der Dicke und von dem Brechungsindex der eingeschobenen Platte; kennt man also Dicke und Tubushebung, so ist der Brechungsindex und zwar nach folgender Überlegung zu berechnen. Es sei o in Fig. 542 a ein Objektpunkt, auf

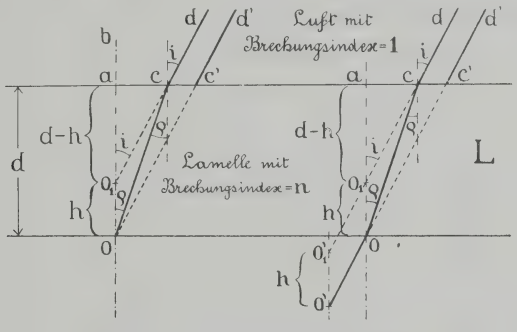


Fig. 542 a. Fig. 542 b.

den das Mikroskop zuerst scharf eingestellt wurde. Denkt man sich die Lamelle L darüber geschoben, so gelangt der senkrecht austretende Strahl oab mit unveränderter Richtung, aber mit veränderter Geschwindigkeit durch die Lamelle in das Objektiv, ein geneigter Strahl oc wird dagegen bei c in der Richtung cd abgelenkt und nun scheinbar von o_1 kommen. In o_1, wo die rückwärts verlängerten Strahlen ab und cd sich schneiden,

[1]) Hist. Acad. R. Sc. 1767. Paris 1770. 162; Mém. Acad. R. Sc. 1767. 423.

liegt scheinbar der Punkt o, er erscheint also um das Stück $o\,o_1$ gehoben. Bezeichnet man die Hebung $o\,o_1$ mit h und die Dicke der Lamelle $o\,a$ mit d, so folgt aus Fig. 542 a

$$\operatorname{tg}\varrho = \frac{c\,a}{d} \text{ und } \operatorname{tg} i = \frac{c\,a}{d-h},$$

woraus sich ergibt

$$\frac{\operatorname{tg} i}{\operatorname{tg}\varrho} = \frac{d}{d-h}.$$

Bei hinreichender Kleinheit dieser Winkel i und ϱ kann man ihre Tangenten mit ihren Sinussen vertauschen und also schreiben

$$\frac{\operatorname{tg} i}{\operatorname{tg}\varrho} = \frac{\sin i}{\sin\varrho} = n = \frac{d}{d-h}.\text{ [1]} \qquad (1)$$

Die Größen d und h werden bei dicken Präparaten mittelst der groben Bewegung des Tubus und der Millimeterteilung an seiner Zahnstange (§ 111 S. 438), bei dünnen Präparaten mittelst der in Paragraph 111 Seite 438—441 erwähnten Mikrometerschraube unter Berücksichtigung ihrer Fehler (s. Fig. 468) gemessen. Die Dicke der zu bestimmenden Lamelle kann man finden, indem man nacheinander auf je ein Staubteilchen an ihrer unteren und an ihrer oberen Fläche einstellt. Die Differenz der beiden Einstellungen ist nun aber nicht die wirkliche Dicke der Platte, sondern ihre durch die Platte hindurchgesehene Dicke. Diese scheinbare Dicke sei $= d'$, dann ist die wirkliche Dicke $d = d' + h$, da ein Punkt auf der unteren Fläche der Lamelle, durch diese gesehen, um ebensoviel gehoben erscheint, wie vorhin das Probeobjekt. — Setzt man diesen Wert in die obige Gleichung ein, so geht sie über in

$$n = \frac{d' + h}{d'}. \qquad (2)$$

Die Genauigkeit des Verfahrens nimmt zu mit der Sicherheit der Einstellung, man wählt daher scharf einstellbare Probeobjekte und die stärksten nach den Umständen verwendbaren Vergrößerungen. Ein Rechenbeispiel zeigt am besten die im allgemeinen immer sehr gering bleibende Genauigkeit der Methode. Bei einem Deckglas sei $d = 0{,}200$ mm (also eine Dünnschliffstärke schon erheblich übersteigend), $h = 0{,}069$ mm gefunden, dann ist $n = 0{,}200 : 0{,}131 = 1{,}527$. Hätte man d und h nur um $\pm$ 0,001 mm falsch bestimmt, so würde man bei ungünstigster Kombination der Fehler $n = 0{,}199 : 0{,}132 = 1{,}507$, also um zwei Einheiten der zweiten Dezimale fehlerhaft finden können. Wiederholt man die Messungen mit größerer Sorgfalt, so ist die zweite Dezimale bei dicken Präparaten im allgemeinen mit einiger Sicherheit festzustellen, an eigent-

[1] C. Miculescu hat den Duc de Chaulnesschen Strahlenverlauf als einen Spezialfall der Erscheinungen am Prisma behandelt, wo also die Flächen oben und unten nicht parallel laufen, sondern einen Winkel miteinander bilden. Bull. Soc. Sc. Bucarest. **14.** 1905. 284—288; **15.** 1906. 8—14.

lichen Dünnschliffen ist die Methode aber nur bei größter Vorsicht zu verwenden. Man bedenke, daß bei einer Lamellendicke von 30 μ, wie sie ein guter Dünnschliff zeigt, und bei einer Bildhebung von 10 μ, Fehler von nur 0,3 μ den Brechungsindex schon um $\pm$ 0,030 beeinflussen können, wie dies durch Einsetzung der entsprechenden Werte in die Formel

$$n \pm \triangle n = \frac{d \mp \triangle d}{(d \mp \triangle d) - (h \pm \triangle h)} \qquad (3)$$

folgt.

Ein schwacher Punkt dieser Chaulnesschen Methode ist auch die Bestimmung der Lamellendicke, die nur selten an den verschiedenen Stellen der Lamelle genau die gleiche ist und die man daher, wenn möglich, an demselben Punkt bestimmt, wo h gemessen wird. Bei losen Blättchen erhält man die besten Resultate, wenn man die Lamelle auf die hohe Kante stellt und ihre Dicke mit einer Mikrometerschraube des Tisches oder mit einem gut ausgewerteten Okularmikrometer ermittelt (s. § 111). Man achte auch noch auf die Übereinstimmung der Grunddimensionen der Tischmikrometerschraube oder des Okularmikrometers mit denen des Tubusmikrometers, denn diese Maße der verschiedenen Schrauben werden ja in den obigen Formeln (1) oder (2) oder (3) in Beziehung zueinander gesetzt.

Die wahre Dicke d einer Lamelle kann man auch nach dem Duc de Chaulnesschen Verfahren finden, wenn man die Lamelle mit einer Flüssigkeit von einer ihr gleichkommenden Lichtbrechung bedeckt und wenn man dann das Mikroskopobjektiv in diese Flüssigkeit eintaucht wie eine Immersion, ohne daß es sich gerade um ein Immersionssystem handeln muß, und ohne daß man genau die Immersionsflüssigkeit nimmt, die sonst für die Güte der Bilder vorgeschrieben ist. Hat diese Immersionsflüssigkeit den Brechungsindex n', so lautet die Formel (1) auf S. 534, wie sich auch leicht aus Fig. 542a ableiten läßt,

$$\frac{n}{n'} = \frac{d}{d - h}. \qquad (4)$$

Der Einstellungsunterschied h verschwindet, wenn $n = n'$ wird.

Wenn das Objekt nicht unmittelbar an der unteren Fläche der Lamelle liegt, sondern sich wie in Fig. 542b bei o' anstatt bei o befindet, so hat dies auf die Hebung keinen Einfluß. Es ist, wie aus Fig. 542b hervorgeht, die in diesem Fall der Beobachtung zugängliche Strecke $o'o'_1 = oo_1$.

Es sei noch auf eine Untersuchung von S. Czapski[1]) hingewiesen, die darauf hinausgeht, das Näherungsverfahren, das in der ganzen Chaulnesschen Methode durch die Vertauschung von Sinus und Tangente liegt, zu beseitigen. Eigentlich gilt ja diese Formel nur streng

[1]) Z. f. wiss. Mikrosk. **5.** 1888. 482—484.

für paralleles Licht, während bei Anwendung größerer Aperturen ein Korrektionsglied hinzuzufügen ist, das man aber so lange vernachlässigen darf, als der Korrektionszustand des Objektivs befriedigend ist und keine störende Verschleierung der Bilder bewirkt[1]). Um nun dieses Optimum der Abbildung zu finden, wendet Czapski immer ein und dasselbe Objektiv, dieselbe Tubuslänge, gleiches Okular und dieselbe Beleuchtung, aber verschiedene Deckglasdicken an und bestimmt das Verhältnis der betreffenden Dicke und der jeweiligen Anzahl der Teilstriche seiner Mikrometertrommel. So findet er bei Deckgläsern von 146, 168, 187, 220 μ Dicke den Abstand des gehobenen Bildes von der Oberfläche zu 35, 40, 45, 52 Teilungen seiner Mikrometerschraube. Hieraus leitet er den Reduktionsfaktor in folgender Weise ab:

$$\frac{146}{35} = 4{,}17; \frac{168}{40} = 4{,}20; \frac{187}{45} = 4{,}16; \frac{220}{52} = 4{,}23.$$

Er findet im Mittel also 4,19 oder rund 4,2 und erhält dann die jeweilige Dicke, indem er die Einstellungsdifferenz mit diesem Faktor multipliziert.

Zur Einübung auf diese Chaulnessche Methode wählt man anfangs ein etwa 1 cm dickes Spiegelglas, geht dann über zu Objektträgern und Deckgläsern und endet mit den recht schwierigen Bestimmungen an eigentlichen Dünnschliffen. Zu jedem Präparat verwendet man die stärksten Objektive, die in ihrem freien Objektabstand noch ein Hindurchblicken bis zur unteren Fläche des Präparats ermöglichen.

Die Chaulnessche Hebung hat keinen Einfluß auf die Vergrößerung eines Objekts. Man sieht also eine nur von Luft oder von einer Glasplatte bedeckte Skala im Okular genau gleich groß, wenn sie nur in beiden Fällen scharf eingestellt wird und wenn diese Einstellung mit unveränderter Tubuslänge des Mikroskops (s. im Gegensatz hierzu den folgenden Paragraphen) geschieht.

134. Abänderungen des Chaulnesschen Verfahrens. Es läßt sich dieses Verfahren je nach dem konkreten Fall sehr mannigfaltig variieren. E. Becquerel und A. Cahours[2]) wie auch A. Bertin[3]) haben die so leicht mit Fehlern behafteten Vertikalmessungen durch Bestimmung der jeweiligen Vergrößerung zu umgehen versucht. Nach Bertin mißt man die Vergrößerung eines Mikrometers, das auf die Lamelle gelegt wird, deren Brechungsindex bestimmt werden soll, bei voll ausgezogenem Okulartubus, sie sei v_1. Legt man dann das Mikrometer unter die Lamelle und läßt das Objektiv unverändert, so muß man das Okular senken, um die Mikrometerteilung zu sehen; man findet

[1]) s. H. Boas, Z. f. Instr. **41.** 1921. 301; ferner A. Gleichen, Lehrb. der geometr. Optik, 29–30.

[2]) C. R. **11.** 1840. 867–871; Pogg. Ann. **51.** 1840. 427–432.

[3]) Ann. Chim. Phys. **26.** 1849. 288–296; Pogg. Ann. **76.** 1849. 611–612.

bei Messung jetzt eine andere Vergrößerung, sie sei v_2. Nimmt man nun noch die Lamelle fort, so muß man bei unverändertem Objektiv abermals das Okular senken, und die Vergrößerung sei nun v_3. Der Brechungsindex der Lamelle ergibt sich dann aus der Relation

$$n = \frac{v_2}{v_3} \cdot \frac{v_1 - v_3}{v_1 - v_2}.$$

Nach der fundamentalen Linsenformel (10) S. 268 ist nämlich

$$\frac{1}{A} + \frac{1}{B} = \frac{1}{F},$$

wenn A und B die Entfernungen des Gegenstandes und seines Bildes von dem Objektiv, und wenn F dessen Aequivalentbrennweite bedeutet. Da nun $B:A$ die Vergrößerung durch das Objektiv ist, so hat man

$$1 + \frac{1}{v_1} = \frac{A}{F}; \qquad 1 + \frac{1}{v_2} = \frac{A + (d - h)}{F}; \qquad 1 + \frac{1}{v_3} = \frac{A + d}{F},$$

wenn d und h die gleiche Bedeutung wie bei der reinen Chaulnesschen Methode haben, und also hier mit $d - h$ und d die Zunahme der Entfernung des Gegenstandes von dem Objektiv bei dem zweiten und dritten Versuch bezeichnet wird. Aus diesen Gleichungen leitet man ab:

$$\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} = \frac{d - h}{F}; \qquad \frac{1}{v_3} - \frac{1}{v_1} = \frac{d}{F}$$

und daraus

$$\frac{\frac{1}{v_3} - \frac{1}{v_1}}{\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}} = \frac{d}{d - h} = n,$$

falls man wieder annimmt, wie bei der Chaulnesschen Methode, daß die Tangenten mit dem Sinus vertauscht werden können.

Schließlich möge noch auf eine ebenfalls an planparallelen Blättchen auszuführende Methode von F. Bernard[1]) verwiesen werden, der aus der Verschiebung der schräg durch das Blättchen hindurchgehenden Welle den Brechungsindex ableitet.

135. Die Chaulnes-Sorbysche Methode. Als H. C. Sorby 1877[2]) die Chaulnessche Methode auf doppelbrechende Kristalle anwenden wollte, beobachtete er merkwürdige Erscheinungen, die seitdem nach ihm

[1]) C. R. **39.** 1854. 27—29; s. auch Pogg. Ann. **97.** 1856. 141—144, 145—148. Vergl. hierzu E. v. Fedorow, Z. X, **22.** 1894. 243—244.

[2]) H. C. Sorby, On some hitherto undescribed Optical properties of Doubly Refracting Crystals. Proc. Roy. Soc. London **26.** 1878. 384—386. On a simple method for determining the Index of Refraction of small portion of transparent minerals. Min. Mag. **1.** 1877. 97, 98, 194. On the Determination of the Minerals in thin Sections of Rocks by means of their Jndices of Refraction. Min. Mag. **2.** 1879. 1—4. Further improvements in studying the optical Characters of Minerals. Min. Mag. **2.** 1879. 103—105.

benannt werden und von G. G. Stockes[1]) für Platten parallel zu einer optischen Symmetrieachse und von B. Hecht[2]) für beliebig orientierte Platten erklärt wurden. Um diese hier auftretenden überraschenden Verschiebungen in den Bildhöhen an einachsigen Kristallen deutlich zu beobachten, bedarf es keiner besonderen Apparatur, wie sie noch Th. Liebisch vorschlug, sondern nur eines etwa 10 mm dicken Kalkspats und eines in $^1/_{10}$ mm quadrierten Möllerschen Objektmikrometers, auf das man ein Diaphragma von etwa 1 mm Öffnung legt. Man bringt dieses Möllersche Präparat mit seinem Diaphragma auf den Mikroskoptisch und legt den Kalkspat so orientiert darüber, daß sein Hauptschnitt dem einen Strichsystem des Möllerschen Präparats parallel läuft. Für die Beobachtung der ordentlichen Wellen kann man Tageslicht, für die außerordentlichen Wellen muß man monochromatisches Licht verwenden. Die Beobachtung geschieht ohne Polarisator und ohne Analysator und wird zweckmäßigerweise bei den einführenden Versuchen mit einer so schwachen Vergrößerung angestellt, daß man die beiden durch den Kalkspat entstehenden Bilder noch im Gesichtsfeld gut übersieht. Versucht man nun an dem Kalkspat die Chaulnesschen Bestimmungen auszuführen, so sieht man die quadrierte Möllersche Skala je nach der Orientierung des Präparats in zwei oder drei verschiedenen Höhen. Ferner erscheinen die Strichsysteme bald in frontaler, bald in sagittaler und bald in beiden Lagen scharf. Um die Erscheinung in ihrer Mannigfaltigkeit kennen zu lernen, kann man den genannten etwa 1 cm dicken Kalkspat mit 8 polierten Flächen nach Basis, Prisma, Grundrhomboëder und Rhomboëder unter $53^0 15'$ gegen Basis versehen.

Die Abweichungen gegenüber dem Verhalten bei isotropen Platten erklären sich durch die Krümmungsverhältnisse der Strahlengeschwindigkeitsflächen; sie hängen zusammen mit der Art, wie ein Mikroskopobjektiv die Strahlen aufnimmt und zum Bilde vereinigt. Das ganze Sorbysche Phänomen ist also eigentlich nur eine Erscheinung der Apparatur, insbesondere des mikroskopischen Strahlengangs; es kann bei teleskopischem Strahlengang nicht beobachtet werden.

Wenn in Figur 543 *PP* die planparelle Platte eines unter dem Winkel ν gegen die optische Achse geschliffenen Kalkspats und o einen beleuchteten Punkt auf seiner Unterfläche vorstellt, so durchläuft ein Beleuchtungsstrahl ao nach der Huygensschen Konstruktion (s. Fig. 41, 42, 44, 57) die Bahn des Vektors ob unter ε gegen die optische Achse geneigt; er tritt in der Richtung bc parallel ao aus. Senkrechter Eintritt hat senkrechten Austritt zur Folge, und eine Ablenkung der Strahlen findet nicht statt, sondern nur eine Parallelverschiebung. Nun aber beob-

[1]) G. G. Stokes, On the Foci of Lines seen through a Crystalline Plate. Proc. Roy. Soc. London. **26.** 1878. 386—401.

[2]) B. Hecht, Über die Anwendung der Chaulnesschen Methode zur Bestimmung der optischen Verhältnisse eines optisch zweiachsigen Kristalles. N. J. B. B. **6.** 1889. 258—273.

achtet man den Gegenstand unter der Platte mit einem Mikroskop, stellt also nicht ein auf Strahlen, die alle untereinander der Austrittsnormalen bc oder $b'c'$ parallel laufen, sondern sieht auch Strahlen, die unter einer

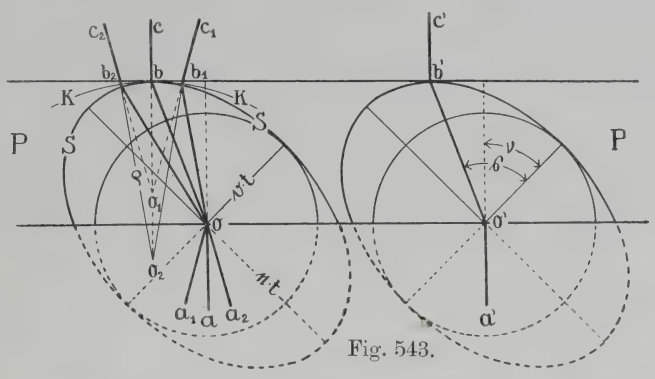


Fig. 543.

gewissen Divergenz in das Objektiv eintreten und die sich dann zu einem Punkt in der Bildebene des Okulars vereinigen. Man verwendet also auch noch Strahlen, die diesseits und jenseits von bc liegen, wie dies für den Eintritt durch die Strahlen a_1o und a_2o und für den Austritt durch die Strahlen b_1c_1 und b_2c_2 in Fig. 543 angegeben ist. Bei dem Übergang des Divergenzkegels b_1ob_2 innerhalb des Kalkspats in den Divergenzkegel $c_1b_1o_1b_2c_2$ in Luft, kommen aber nicht mehr die Strahlen, sondern die Wellennormalen, d. h. bei dem Maß der Brechung die Geschwindigkeiten dieser Wellennormalen in Betracht [s. § 24 S. 78, ferner § 27 unter *b*) S. 87]. In Luft, also in dem den Kalkspat umgebenden Medium, sind die Strahlen b_1c_1, bc, b_2c_2 mit den Wellennormalen identisch. Konstruiert man sie rückwärts in den Kalkspat, so liegt die Wellennormale, aus der bc hervorgegangen ist, in derselben Richtung, also in bo_1, während die Wellennormalen, die den Austritt in b_1c_1 und b_2c_2 erfahren, ganz ähnliche Geschwindigkeitsverhältnisse aufweisen, weil sich alles innerhalb enger Aperturen abspielt. Wenn aber die drei Wellennormalen b_1c_1, bc, b_2c_2 mit denselben Geschwindigkeitsverhältnissen oder mit demselben Brechungsverhältnis abgelenkt werden, so kann an Stelle der ellipsoidischen Fläche unterhalb b_1bb_2 eine das Ellipsoid berührende Kugel KK angenommen werden, von deren Zentrum o_2 die Wellennormalen ausgehen. Der Radius dieser Kugel ist also o_2b, er werde mit ϱ' bezeichnet[1]). Sein reziproker Wert stellt den hier in Betracht kommenden Brechungsindex n' vor. Erst der Punkt o_2, der nunmehr nach diesen Brechungsverhältnissen den Punkt o ersetzt, bildet sich nach der einfachen Duc de Chaulnesschen Überlegung in o_1 ab, so daß

$$o_1b = \frac{o_2b}{n'} = \frac{\varrho'}{n'} \tag{1}$$

ist. Nun ist noch zu bedenken, daß in Fig 543 die Dimensionen der

[1]) In Fig. 543 links ist o_2b_2 irrtümlich mit ϱ anstatt ϱ' bezeichnet; ϱ soll der Radius der Einheitskugel sein.

Strahlenfläche SS sich auf die Zeit t und nicht auf die Zeiteinheit beziehen, sodaß ihre Hauptvektoren nicht $\mathfrak{v}$ und $\mathfrak{e}$, sondern $\mathfrak{v} \cdot t$ und $\mathfrak{e} \cdot t$ lauten. Eine Wellengeschwindigkeit in der Richtung der Plattennormale möge als $\mathfrak{e}'$ und ihr Weg durch diese Platte hindurch mit $\mathfrak{e}' \cdot t$ bezeichnet werden. Diese letztere Größe ist die uns jederzeit zugängliche Dicke d der Platte, und wir haben daher die Gleichung

$$\mathrm{d} = \mathfrak{e}' \cdot \mathrm{t} = \frac{\mathrm{t}}{\mathrm{n}'} . \tag{2}$$

Will man auch den Krümmungsradius ϱ' der Berührungskugel KK auf die Einheitskugel, also auf die Zeiteinheit beziehen, und bezeichnet man diesen mit ϱ, so gilt die Gleichung

$$\varrho = \frac{\varrho'}{\mathrm{t}} . \tag{3}$$

Aus (1), (2) und (3) folgt

$$\mathfrak{o}_1 \mathrm{b} = \mathrm{d}\,\varrho, \tag{4}$$

wo $\mathfrak{o}_1 b$ die Strecke d—h in der Bezeichnung des Paragraphen 133 bedeutet.

Der Krümmungsradius ϱ läßt sich aus $\mathfrak{v}$, $\mathfrak{e}$ und ν des betreffenden Präparats nach der analytischen Geometrie auch folgendermaßen ausdrücken

$$\varrho = \frac{\mathfrak{v}^2 \mathfrak{e}^2}{(\mathfrak{v}^2 \cos^2 \nu + \mathfrak{e}^2 \sin^2 \nu)^{3/2}} . \tag{5}$$

Dieser Krümmungsradius liegt in der Ebene der Fig. 543, also im Hauptschnitt des Kalkspats und stellt den einen extremen Wert dar. Es gibt aber noch einen andern extremen Krümmungsradius der Berührungsfläche im Punkte b und zwar senkrecht zur Zeichenebene der Fig. 543 oder senkrecht zum Hauptschnitt. Diese beiden Krümmungsradien oder Lichtgeschwindigkeiten bewirken nun die scharfe Abbildung der Striche der Möllerschen Skala in verschiedenen Höhen, wenn man diese Striche

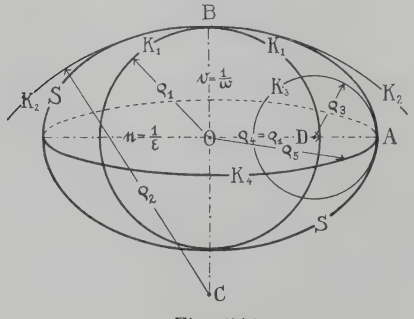


Fig. 544.

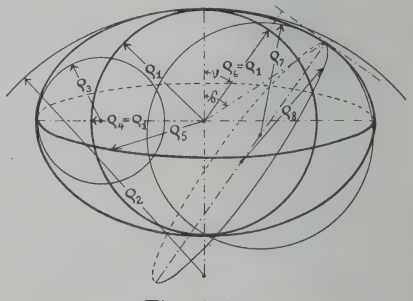


Fig. 545.

parallel und senkrecht zum Hauptschnitt orientiert. Sonst erhält man keine scharfe Abbildung, weil eine Berührungsfläche an das Ellipsoid im allgemeinen unendlich viele Krümmungsradien hat.

Um nun mit demjenigen Versuch zu beginnen, der wohl am meisten überrascht, legt man den Kalkspat auf die angeschliffene Basis und überzeugt sich von der scharfen Abbildung der beiden Strichsysteme der quadrierten Skala in zwei verschiedenen Höhen. Die Strahlenverhältnisse, die hier für die Abbildung in Frage kommen, sind in Fig. 544 dargestellt. Die Berührungskugel K_1K_1 für die ordentliche Welle stimmt im Radius mit der ordentlichen Welle überein. Hier ist

$$\varrho_1 = o = \frac{1}{\omega},$$

und es stellt sich die Formel (4) folgendermaßen dar

$$d—h_\omega = d\,\varrho_1 = d/\omega \tag{6}$$

oder

$$\omega = \frac{d}{d—h_\omega}. \tag{7}$$

Für die Berührungskugel K_2K_2 der außerordentlichen auch in der c-Achse laufenden Welle in Fig. 544 ist der Krümmungsradius, wie man aus der Formel (5) für $v = o$ erhält:

$$\varrho_2 = \frac{\varepsilon^2}{o} = \frac{\omega}{\varepsilon^2}.$$

Ferner ist nach Formel (4) und (6)

$$d—h_\varepsilon = d \cdot \varrho_2 = d\,\frac{\omega}{\varepsilon^2} = \frac{d^2}{d—h_\omega} \cdot \frac{1}{\varepsilon^2} \tag{8}$$

oder

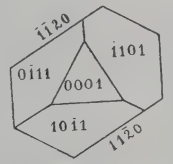
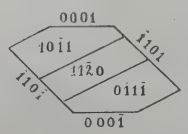
$$\varepsilon = \frac{d}{\sqrt{(d—h_\omega)\,(d—h_\varepsilon)}}. \tag{9}$$

Aus den Gleichungen (6) und (8) ersieht man die Verschiedenheit der Höhenlagen $d—h_\omega$ und $d—h_\varepsilon$. Bei andern Lagen des Kalkspats kommen andere Krümmungsradien in Frage. Für das auf S. 538 erwähnte Präparat mit vier Flächenlagen stellen sich die Verhältnisse, wie in der Übersicht auf S. 542—543 dar. Zum Verständnis der Lagen der Krümmungsradien, wie sie bei den Versuchen I, II und III zur Wirksamkeit gelangen, kann noch Fig. 545 dienen. — Bei einer besonderen Größe von v bezw. $\hat{s}$ wird der Krümmungsradius ϱ_7 der Berührungskugel an die Strahlengeschwindigkeitsfläche im Hauptschnitt gleich ϱ_1. Dieser Wert ist in Versuch IV mit ϱ_9 bezeichnet, während dann ϱ_8 in ϱ_{10} bei dem gleichen Versuch IV übergeht.

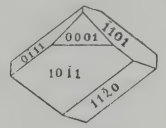
136. Die Einbettungsmethode. Taucht man ein Mineralkorn in eine Flüssigkeit von genau gleicher Lichtbrechung, Dispersion und Farbe, so verschwinden seine Grenzen vollständig und es wird damit unsichtbar. Will man daher die Einzelheiten der inneren Beschaffenheit eines Mineral-

Die Chaulnes-Sorbyschen Bildhebungen am Kalkspat.

Beleuchtung mit unpolarisiertem Natrium-Licht.

	Fall	Tubus	Bilder im Mikroskop	Krümmungsradius der bei der mikroskopischen Bilderzeugung wirksamen Strahlenfläche	Bildhebung im Chaulneschen Sinn	Brechungsindizes
Versuch I. Beobachtung auf Basis 	1	hoch	o	$\varrho_1 = \frac{1}{\omega}$	$h_1 = d\,\frac{\omega - 1}{\omega}$	$\omega = \frac{d}{d - h_1}$
	2	tief	e	$\varrho_2 = \frac{\omega}{\varepsilon^2}$	$h_2 = d\,\frac{\varepsilon^2 - \omega}{\varepsilon^2}$	$\varepsilon = \frac{d}{\sqrt{(d - h_1)(d - h_2)}}$
Versuch II. Beobachtung auf Prisma [1] 	3	hoch	e	$\varrho_3 = \frac{\varepsilon}{\omega^2}$	$h_3 = d\,\frac{\omega^2 - \varepsilon}{\omega^2}$	$\omega = \frac{d}{\sqrt{(d - h_3)(d - h_5)}}$ $\varepsilon = d\,\frac{d - h_3}{(d - h_4)^2}$
	4	mittel	o	$\varrho_4 = \varrho_1$	$h_4 = d \cdot \frac{\omega - 1}{\omega}$	$\omega = \frac{d}{d - h_4}$
	5	tief	e	$\varrho_5 = \frac{1}{\varepsilon}$	$h_5 = d \cdot \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon}$	$\varepsilon = \frac{d}{d - h_5}$

[1]) Jedes Glansche oder Thompsonsche oder Ahrenssche oder Ritter-Franksche Prisma eignet sich zur Demonstration der Höhenlagen in den Fällen 3 und 5, während die mittlere Höhenlage 4 ausfällt wegen der Totalreflexion der ω-Wellen.

Versuch III. Beobachtung auf Grundrhomboëder $(10\bar{1}1)$ [2] 	6	hoch	e o	$\varrho_6 = \varrho_1$	$h_6 = d\,\frac{\omega - 1}{\omega}$	$\omega = \frac{d}{d - h_6}$
	7	mittel	e o	$\varrho_7 = \frac{1}{\omega^2 \varepsilon^2 \sqrt{\left(\frac{\cos^2(44^\circ 36')}{\omega^2} + \frac{\sin^2(44^\circ 36')}{\varepsilon^2}\right)^3}}$	$h_7 = d\,(1 - \varrho_7)$	ε aus h_6 und h_7 „ h_6 „ „ h_8 „ h_7 „ h_8
	8	tief	e o	$\varrho_8 = \frac{1}{\varepsilon^2 \sqrt{\frac{\cos^2(44^\circ 36')}{\omega^2} + \frac{\sin^2(44^\circ 36')}{\varepsilon^2}}}$	$h_8 = d\,(1 - \varrho_8)$	ω aus h_7 und h_8
Versuch IV. Beobachtung auf Rhomboëder unter 53° 15′ gegen Basis 	9	hoch	e o	$\varrho_9 = \varrho_1$	$h_9 = d\,\frac{\omega - 1}{\omega}$	$\omega = \frac{d}{d - h_9}$
	10	tief	e o	$\varrho_{10} = \frac{1}{\varepsilon^2 \sqrt{\frac{\cos^2(53^\circ 15')}{\omega^2} + \frac{\sin^2(53^\circ 15')}{\varepsilon^2}}}$	$h_{10} = d(1 - \varrho_{10})$	ε aus h_9 und h_{10}

[2]) Jedes Polarisationsprisma Nicolscher Konstruktion zeigt eine Höhenverschiebung ähnlich dem Fall 7, während der Fall 6 hier ausfällt wegen der Totalreflexion der ω-Wellen.

korns studieren, so wählt man eine Umhüllung von möglichst gleichen Brechungsverhältnissen; will man dagegen die äußere Form gut sehen, so legt man das Korn in ein Medium von stark abweichender Brechung wie Luft oder Wasser (vergl. § 7, S. 23). Aus diesem, jedem Physiker seit langem bekannten Verfahren[1]) hat sich erst spät eine quantitative Methode zur Bestimmung der Brechungsindizes an mikroskopischen Objekten entwickelt. A. Brun[2]) taucht die Mineralien in Körnerform in Flüssigkeiten von bekanntem Index und richtet seine Aufmerksamkeit auf die Beleuchtung des Zentrums des Korns bei Änderung der Tubusstellung. Von der mittleren Einstellungslage des Tubus ausgehend muß,

wenn man den Typus hebt,
die Mitte des Korns heller werden,
wenn das Korn einen höheren Index hat

als die umgebende Flüssigkeit. Er führt die Erscheinung auf Totalreflexion zurück, doch handelt es sich hier wohl eher um eine Addition der Erscheinungen der Totalreflexion und der Brechung. Die Methode fand ihre weitere Ausarbeitung durch J. L. C. Schroeder van der Kolk[3]), nach dem sie auch häufig benannt wird. Sie führt selbst bei Körnchen von 20 μ und weniger Durchmesser zu überraschend guten Werten. Sie ist bei dieser Kleinheit der Objekte eine ausgesprochen mikroskopische Methode, die dort, wo andere Methoden längst versagen, noch zum Ziele führt.

Bei abweichenden Dispersionsverhältnissen in Einschluß und Umgebung treten auch Farbenerscheinungen auf, die schon 1872 O. Maschke[4]) benutzte, um Quarz und Tridymit zu unterscheiden. Er erklärte anfangs diese Farbenerscheinungen als Interferenzfarben, gab aber später[5]) die richtige Erklärung und zeigte, daß es sich um prismatische Farben handelt. Flüssigkeiten wie Wasser, Amylalkohol, Glyzerin, Mandelöl, Kassiaöl und an zwanzig Gemische der beiden letzten Öle benutzte er, um die Bestimmung der Lichtbrechung an einer Reihe von Mineralien mit gutem Erfolg durchzuführen. Auch wird in dieser zweiten Arbeit (S. 728) die Verschiebung der Blendenöffnung am Abbeschen Kondensor benutzt und

[1]) Vergl. z. B. A. Biot, Mém. l'Inst. **18.** 1842. 545, 683—684. — C. Klein zeigte von neuem die Vorteile dieser Methode auch bei der Untersuchung makroskopischer Objekte im parallelen und konvergenten Licht (S. B. A. 1890. 347—352. N. J. 1891. I. 70—76), wozu der in Fig. 490 S. 460 abgebildete Apparat und manche andere Konstruktion diente.

[2]) Arch. Sc. phys. et math. Genève. **32.** 1894. 218—220.

[3]) Kurze Anleitung zur mikroskopischen Kristallbestimmung. Wiesbaden 1898. 60 S. In seinen Tabellen zur mikroskopischen Bestimmung usw. Wiesbaden 1900. 48 S., hat Schr. v. d. K. an über 200 Mineralien die Brechungsindizes nach seiner Methode bestimmt. 2. umgearbeitete und vermehrte Auflage von E. H. M. Beekmann. Wiesbaden 1906. 67 S. Verschiedene Monographien v. d. Kolks liefern zahlreiche Beispiele für die Anwendbarkeit der Methode, z. B. Mikroskopische Studien über Gesteine aus den Molukken. Samml. des Geol. Reichsmuseums, Leyden. Bd. **5** und **6.** 1900.

[4]) Pogg. Ann. **145.** 1872. 568.

[5]) Wiedemanns Ann. **11.** 1880. 722—734.

damit von der so wichtigen schiefen Beleuchtung Gebrauch gemacht; ferner benutzte Maschke schon eine Abblendung des Gesichtsfeldes über dem Objekt.

Die Erscheinungen erklären sich folgendermaßen: die Körner eines gepulverten Minerals bilden an vielen Stellen mehr oder weniger prismatische Ränder und bieten damit dem Licht die Möglichkeit, sich farbig zu zerlegen oder total reflektiert zu werden. Daher umgeben sich diese Körner mit farbigen und dunkeln Rändern, die um so breiter werden,

Fig. 546.

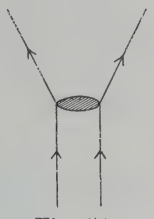


Fig. 547.

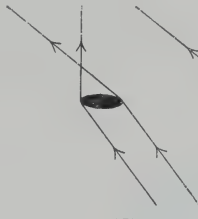


Fig. 548.

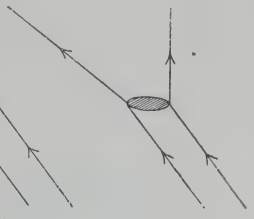


Fig. 549.

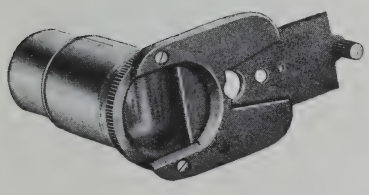


Fig. 550.

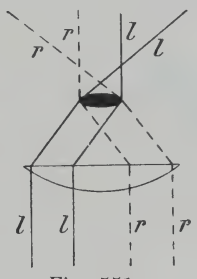


Fig. 551.

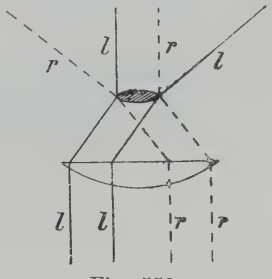


Fig. 552.

Polarisator mit Diaphragmenschieber nach F. E. Wright.

je weiter die Brechungsverhältnisse eines Korns und seines umgebenden Mediums voneinander abweichen. Trockener Quarzsand zeigt unter dem Mikroskop breite schwarze Ränder, die bei Einbettung in Wasser viel schmäler werden und in Kanadabalsam oder Nelkenöl vollständig verschwinden. Kennt man also den Brechungsindex des Kanadabalsams oder des Nelkenöls, so läßt sich ein Schluß auf die Lichtbrechung des Quarzes ziehen.

Um zunächst von der Farbenerscheinung abzusehen und nur die dunkeln Ränder zu erklären, kann man eine Beleuchtung mit homogenem Licht annehmen. Denkt man sich ein linsenförmiges Mineralkorn mit gewöhnlichem, parallelem, monochromatischem Licht beleuchtet, indem man Polarisator und Kondensor entfernt und nur den einfachen Planspiegel anwendet, so können die Lichtstrahlen das Korn konvergent (Fig. 546) oder divergent (Fig. 547) verlassen, je nachdem die umgebende Flüssigkeit eine schwächere oder stärkere Lichtbrechung als das Korn besitzt. In beiden Fällen aber zeigen die Randstrahlen entweder alsbald oder in einiger Höhe über dem Korn eine Divergenz, sodaß sie in das weit abstehende Objektiv nicht eintreten können; es müssen daher die

Kornränder — ob die Flüssigkeit nun stärker oder schwächer lichtbrechend ist — dunkel erscheinen. Unter diesen Beleuchtungsverhältnissen wäre man auf die rohesten Tastversuche angewiesen, um jene Flüssigkeit zu finden, welche die Ränder zum vollständigen Verschwinden bringt. Wendet man aber mit Schroeder v. d. Kolk eine schiefe Beleuchtung an, wie dies wieder schematisch in Fig. 548 und 549 angedeutet ist, so kann man mit Sicherheit eine Entscheidung treffen, ob das Korn stärker (Fig. 548) oder schwächer (Fig. 549) als die Flüssigkeit das Licht bricht. Blendet man das Licht von links ab, läßt es also von rechts einfallen, so werden bei stärkerer Lichtbrechung des Korns noch Strahlen vom linken Rand und bei schwächerer Lichtbrechung solche vom rechten Rand in das Objektiv eintreten. Bei großen Körnern kann man die Schiefe der Beleuchtung durch den Planspiegel bewirken, bei kleineren Objekten schaltet man den Kondensor ein und blendet mit dem Finger[1]) oder mit einem Stück schwarzen Kartons, das man zwischen Spiegel und Kondensor schiebt, die eine Seite der einfallenden Strahlen ab. Statt dieser primitiven Vorrichtung hat F. E. Wright[2]) einen Schieber am Polarisator konstruiert (Fig. 550), bei dem die Diaphragmen von verschiedenem Durchmesser auch eine Irisblende ersetzen können. Bei Einschaltung des Kondensors wird man zuerst sehen, daß die dunkeln Ränder bedeutend schmäler werden, (wie dies die Figuren 551 und 552 erläutern), weil die mit *ll* bezeichneten Strahlen teilweise für die Beleuchtung des einen Randes, die mit *rr* bezeichneten teilweise für die Beleuchtung des andern Randes dienen. Erst bei Abblendung treten die Unterschiede deutlich hervor, wobei das Dunklerwerden des einen Randes besonders auffällt. Mit Berücksichtigung der durch das Mikroskop erfolgenden Umkehrung der Bilder ergibt sich folgende Regel:

Einschiebung der Blende am Kondensor und Randverdunklung (im Bilde) auf der gleichen Seite; Korn von stärkerer Lichtbrechung als Flüssigkeit.

Einschiebung der Blende am Kondensor und Randverdunklung (im Bilde) auf verschiedenen Seiten; Korn von schwächerer Lichtbrechung als Flüssigkeit.

Der optische Vorgang bei der Blendenwirkung ist aus Fig. 299 zu ersehen und zwar bei der Stellung von Eintrittspupille und Kondensor gegenüber Objekt und Objektiv, wie sie dort gezeichnet ist. Man sieht, daß die Strahlen, die von einem Punkt P_1 ausgehen, das ganze Objekt $O_1 B_1$ beleuchten, wie dies auch mit U_1 und mit jedem dazwischen liegenden Punkt der Fall ist. Da nun bei voller Beleuchtung, also bei geöffneter und zentrisch gelegener Eintrittspupille, zu jedem Punkt P_1 ein symmetrisch auf der andern Seite gelegener Punkt U_1 vorhanden ist, so wird das Objekt von rechts und von links her in gleicher Weise beleuchtet.

[1]) Schroeder v. d. K., Zeitschr. f. wiss. Mikrosk. **8.** 1892. 458.

[2]) T. M. P. M. **20.** 1901. 239; Am. Journ. **17.** 1904, 385—391; **35.** 1913. 63—82.

Bei Abblendung von Punkten der Eintrittspupille bis auf die in der Nachbarschaft von P_1 gelegenen wird diese Symmetrie gestört und die Beleuchtung einseitig schief, aber immer für das ganze Objekt, wie in Fig. 299 erfolgen. Dies aber sind die Verhältnisse, wie sie in Fig. 548 und 549 verlangt werden. Eine solche schiefe Beleuchtung kann entweder durch einen in der Ebene $P_1 U_1$ der Fig. 299 gelegenen Wrightschen Schieber geschehen oder in Ebenen, die zu $P_1 U_1$ konjugiert sind, das sind die Ebenen $P_3 U_3$ und $P_4 U_4$. In $P_3 U_3$ lassen sich meistens, wenigstens bei stärkeren Objektiven, solche Schieberblenden nicht gut einführen, weil der dazu etwa geeignete Schlitz im unteren Tubusende zu hoch liegt. Bei schwächeren Objektiven kann man aber auch hier gewisse Erfolge erzielen, wie dies von G. W. Grabham[1]), wenn auch für etwas andere Zwecke, vorgeschlagen wurde.

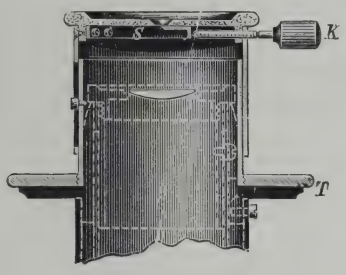


Fig. 553.
Mikrorefraktometer nach S. Exner von R. Fuess

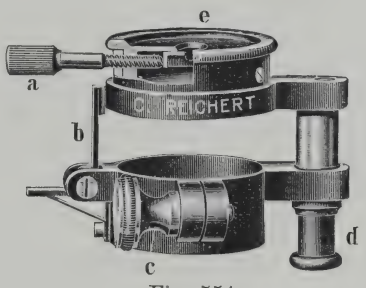


Fig. 554.
Mikrorefraktometer nach S. Exner von C. Reichert

Sehr bequem läßt sich nun aber ein solcher Schieber bei $P_4 U_4$, also in der Austrittspupille des Mikroskops anbringen, wie dies S. Exner[2]) schon 1885 bei seinem Mikrorefraktometer tat. Zwei Formen dieses kleinen Apparates, die nach F. Beckes[3]) Angaben von R. Fueß und C. Reichert ausgeführt werden, sind in Fig. 553 und 554 abgebildet. Auch wird dieses Exnersche Mikrorefraktometer nach H. Schneiderhöhns[4]) Angaben von E. Leitz hergestellt.

Der Apparat wird über das Okular gestülpt und bei dem Fueßschen Modell an seinem in Fig. 553 sichtbaren ausziehbaren Teil und bei dem Reichertschen Modell in Fig. 554 durch die Schraube d so lange auf und ab geschoben, bis die bei S bzw. e befindliche Öffnung in der Austrittspupille des betreffenden Okulars, das in Fig. 553 gestrichelt angedeutet ist, liegt. Man erkennt die Richtigkeit dieser Stellung an dem Verschwinden eines das Gesichtsfeld umgebenden blauen Saumes. Die Schraube K bzw. a bewegt einen Schieber vor die Öffnung und blendet dadurch einen Teil der Strahlen ab.

[1]) Min. Mag. **15.** 1910. 340.
[2]) Arch. f. Mikrosk. Anatomie. **25.** 1885. 97.
[3]) T. M. P. M. **13.** 1893. 387; S. W. A. **102.** 1893. 364.
[4]) Z. X. **50.** 1912. 234.

Auf diese Weise kann man also jederzeit sehen, in welchem Sinne der Unterschied zwischen Korn und Flüssigkeit liegt. Ob er aber groß oder klein ist, läßt sich am besten aus Farbenerscheinungen ableiten, die bei erheblichem Unterschied in der Dispersion der beiden Medien wahrgenommen werden. Ein solcher Unterschied tritt immer auf[1]), weil die Flüssigkeiten eine größere Dispersion als die festen Körper haben.

An einem sehr hübschen Versuch demonstriert Schroeder v. d. K.[2]) die hier auftretenden Verhältnisse. Er bettet pulverisierten Baryt (n = 1,64) in ein Gemisch zweier Flüssigkeiten, deren Indizes unterhalb und oberhalb der Brechung des Baryts liegen, z. B. in Benzol (n = 1,50) und Jodmethylen (n = 1,74). Da nun das Benzol sehr flüchtig ist und durch Verdunstung sehr schnell aus der Mischung verschwindet, so hat diese

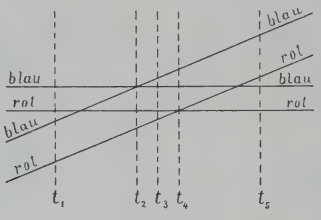


Fig. 555.

zu Anfang des Versuchs eine geringere, nach wenigen Minuten eine stärkere Lichtbrechung als der Baryt. In Fig. 555 mögen nach der Darstellung Schroeder v. d. Kolks die Abszissen die Zeit, die Ordinaten die Brechungsindizes angeben. Der Baryt behält während des ganzen Versuchs die gleiche Brechung für blaue und rote Strahlen, was durch die beiden horizontalen mit blau und rot bezeichneten Linien angedeutet ist, während in der Flüssigkeit diese Brechung immer höher wird, wie dies durch die beiden parallelen, nach rechts hin ansteigenden Linien, die wegen der größeren Dispersion der Flüssigkeit einen größeren Vertikalabstand haben, ausgedrückt werden soll. Zur Anfangszeit t_1 sind alle Indizes des Korns höher als die der Flüssigkeit, zur Zeit t_2 findet Übereinstimmung für Blau statt, zur Zeit t_3 hat das Korn für Rot einen höheren, für Blau einen niedrigeren Index, zur Zeit t_4 findet Übereinstimmung für Rot statt, und zur Zeit t_5 sind schließlich alle Indizes der Flüssigkeit höher als die des Baryts. Nennt man den Rand des Korns, der im mikroskopischen Bild dem einzuschiebenden Schirm zugekehrt ist, den Vorderrand, so hat man nach dem oben gesagten folgende Erscheinungen zu erwarten (bei dem Hinweis auf die Figuren ist die mikroskopische Bildumkehrung zu berücksichtigen):

[1]) S. auch K. Spangenberg, Fortschritte d. Min. usw. **7.** 1922. 27.
[2]) l. c. „Tabellen" 1900. 5–6.

Zur Zeit t_1 bis t_2 Vorderrand dunkel, Hinterrand hell (Fig. 551).
Zur Zeit t_2 bis t_4 Vorderrand blau (Fig. 552), Hinterrand rot (Fig. 551).
Zur Zeit t_4 bis t_5 Vorderrand hell, Hinterrand dunkel (Fig. 552).

Auf diese Weise läßt sich an Körnchen, an denen Vorder- und Hinterrand erst bei hundertfacher Vergrößerung zu erkennen sind, die Bestimmung der Brechungsindizes bis auf mindestens eine Einheit der zweiten Dezimale richtig ausführen.

Auch doppelbrechende Kristalle lassen sich nach dieser Methode auf ihre Hauptbrechungsindizes untersuchen. Bei einachsigen Medien kann man die ordinäre Welle dadurch von der andern häufig unterscheiden, daß die Farbenerscheinungen viel deutlicher auftreten, auch muß man den zugehörigen Index an allen Körnchen gleich groß finden. Die Undeutlichkeit der Farbenerscheinung bei der außerordentlichen Welle kann damit zusammenhängen, daß die Prismen an den Körnern sehr unregelmäßig gebildet sind, und infolge davon die Welle, die in einer Richtung austritt, aus verschieden gerichteten außerordentlichen Wellen hervorgeht. Diese letzteren haben verschiedene Indizes und können daher zum Teil für Blau, zum Teil für Rot mit der Flüssigkeit übereinstimmen und dadurch die Farbenerscheinung stören.

In weiterer Verfolgung eines Gedankens von H. Ambronn[1]) hat K. Spangenberg[2]) angegeben, wie man bei einem doppelbrechenden Korn die beiden Brechungsindizes γ_1 und α_1 ermitteln kann, wenn man zwei Flüssigkeiten mit den Indizes n_1 und n_2 aussucht, die zwischen γ_1 und α_1 liegen. Es können hier auf beiden Seiten der Grenze zwei Lichtlinien beobachtet werden, die im allgemeinen verschieden hell sind und durch senkrecht zueinander polarisierte Lichtwellen hervorgerufen werden. Bei Verwendung eines Polarisators kann man nun das Korn oder Blättchen, das in die betreffende Flüssigkeit eingebettet ist, in ein solches Azimut zur Schwingungsrichtung des einfallenden Lichts bringen, daß die Linien auf beiden Seiten der Grenze gleich hell werden. Geht man von einer Polarisatorstellung PP aus, die nur die Lichtbrechung γ_1 zur Wirkung kommen läßt, wo also das α_1-Bild verschwindet, und dreht das Korn um einen Winkel φ, bis die durch γ_1 und α_1 hervorgerufenen Lichtlinien gleich intensiv werden, so ist J_{γ_1} proportional $J\cos^2\varphi$ und J_{α_1} proportional $J\sin^2\varphi$. Nimmt man ferner näherungsweise an, daß die Intensität dieser Lichtlinien proportional dem Unterschied der sie erzeugenden Brechungsindizes ist, so folgt für gleiche Intensitäten auf beiden Seiten für eine Flüssigkeit mit der Lichtbrechung n_1 und ein Azimut φ_1

$$\cos^2\varphi_1\,(\gamma_1 - n_1) = \sin^2\varphi_1\,(n_1 - \alpha_1)$$

und für eine zweite Flüssigkeit mit dem Brechungsindex n_2 und für ein Azimut φ_2

$$\cos^2\varphi_2\,(\gamma_1 - n_2) = \sin^2\varphi_2\,(n_2 - \alpha_1).$$

[1]) Ber. math.-phys. Klasse. K. Sächs. Ges. Wiss. 1893. 3 S.
[2]) Zentralbl. f. Min. usw. 1920. 352—362 und 406—414.

Aus beiden Gleichungen folgt

$$\gamma_1 = \frac{n_2 \sin^2 \varphi_1 - n_1 \sin^2 \varphi_2}{\sin^2 \varphi_1 - \sin^2 \varphi_2},$$

$$\alpha_1 = \frac{n_1 \cos^2 \varphi_2 - n_2 \cos^2 \varphi_1}{\cos^2 \varphi_2 - \cos^2 \varphi_1}.$$

Die Beobachtungen sind im monochromatischen Licht auszuführen. Zu den extremen Werten γ und α kann man nur durch Beobachtung vieler Körner gelangen, indem man auch einmal ein solches senkrecht zur optischen Normale β antrifft.

Wie K. Spangenberg einen Polarisator zur Bestimmung der Lichtbrechung an Sphärolithen verwendet, möge im Original (l. c. S. 408 bis 411) nachgelesen werden.

Von Einbettungsflüssigkeiten sollten nach Möglichkeit chemisch wohl definierte Körper von ganz konstanter Zusammensetzung und gegenüber Licht und Luft unveränderlichen Eigenschaften verwendet werden. Indessen lassen sich diese Forderungen nur in beschränktem Maße erfüllen. Besonders ist die Anwendung der Öle wegen ihres indifferenten Verhaltens gegen Glas und Metall, denen sie wohl hauptsächlich ihren Gebrauch in der mikroskopischen Technik verdanken, nicht zu umgehen. Übrigens haben A. de Lorenzo und C. Riva[1]) verschiedene Öle nach drei und sechs Monaten auf ihre Brechung untersucht und in den meisten Fällen eine Änderung des Index von nur $\pm$ 0,001 gefunden. Dies ist übrigens die Genauigkeitsgrenze, die man mit dieser Methode höchstens erreichen kann. Auch die Empfindlichkeiten der Flüssigkeiten gegenüber Temperaturschwankungen, die in den meisten Fällen 4—6 Einheiten der vierten Dezimale für 1° betragen, lassen die Genauigkeit in der Praxis nur auf drei Dezimalen zu. Die nachstehend aufgeführten Flüssigkeiten[2]) sind zum Teil wohldefinierte chemische Körper, zeigen aber dennoch in den Fabrikaten nicht immer die gleiche Lichtbrechung, weil die Zusammensetzung nicht genau der Theorie entspricht. In erhöhtem Maße gilt dies von den Ölen. Um derartige, hier zu erwartende Schwankungen zu übersehen, sind neue Bestimmungen von mir denen von Schroeder v. d. Kolk, sowie den Werten aus den Landolt-Börnsteinschen Tabellen gegenübergestellt. Die Beobachtungstemperatur beträgt in allen Fällen 18°. (Tabelle s. S. 551.)

---

[1]) Ref. Z. X. **35.** 1902. 501—502; s. auch C. Riva, Rendiconti Accad. Lincei **9.** 1900. 173.

[2]) Zusammenstellungen, aber nicht nur von einfachen Körpern sondern auch von Mischungen, wurden von F. E. Wright und E. S. Larsen für 15 Flüssigkeiten in der Lichtbrechung 1,450 bis 1,790 gegeben. Am. Journ. **27.** 1909. 35; s. ferner F. E. Wright, N. J. B. B. **35.** 1913. 767, wo auch die Merwinschen Schmelzen von Schwefel und Selen aufgenommen sind; s. ferner P. Mayer, Über die flüchtigen Öle und ihren Ersatz, Z. f. wiss. Mikrosk. **36.** 1919. 219—256.

Name	Brechungsindizes für D-Licht bei ca. 18°			Siedepunkt
	Nach Schroeder v. d. Kolk	Nach Wülfing	Nach Landolt-Börnsteins Tabellen	
Methylalkohol	—	—	1,330	66°
Wasser	—	1,333 [1])	1,333	100°
Aceton	1,325	1,359	1,361	56°,5
Äthylalkohol	1,367	1,365	1,362	78°
Hexan	1,377	1,387	1,376	71°
Heptan	1,411	1,409	—	98°,4
Äthylenchlorid	1,447	1,444	1,447	84°
Chloroform	1,446	1,446	1,447	61°,5
Glycerin	—	1,454 [2])	1,463	290°
Tetrachlorkohlenstoff	1,466	1,461	1,461	76°
Lavendelöl	1,461	1,463	—	—
Olivenöl	1,469	1,469	—	—
Terpentinöl	1,471	1,469	1,470	ca. 160°
Mandelöl	—	1,475	—	—
Bucheckernöl	1,477	1,475	—	—
Knochenöl	—	1,477	—	—
Ricinusöl	1,478	1,479	—	—
Leinöl	—	1,485	—	—
Xylol	1,495	1,494	1,503	139°
Toluol	1,496	1,496	1,503	110°
Benzol	1,501	1,500	1,500	80°,4
Pseudocumol	1,505	1,505	1,508	170°
Cedernholzöl	1,516	1,507	—	—
Jodäthyl	—	1,513	1,512	72°
Monochlorbenzol	1,527	1,524	1,527	132°
Fenchelöl	1,538	1,529	—	—
Nelkenöl	—	1,530	—	—
Oleum caryophyllorum	1,544	1,536	—	—
Eugenol (Nelkensäure)	—	1,541	1,546	247°
Äthylenbromid	1,536	1,539	1,540	131°
Canadabalsam (in Dünnschliffen)	—	1,539	—	—
Nitrobenzol	1,554	1,553	1,553	205°
Zimtäthyläther	—	1,559	1,560	271°
Dimethylanilin	1,558	1,559	1,567	192°
Monobrombenzol	1,561	1,559	1,562	155°
Anisöl	1,548	1,560	—	—
Anethol	—	1,561	1,564	232°
Orthotoluidin	1,572	1,571	1,573	197°
Anilin	1,588	1,582	1,587	184°
Zimtöl	1,605	1,586	1,619	—
Bromoform	1,588	1,597	1,590	151°
Cassiaöl	—	1,609	1,586	—
Monojodbenzol	1,621	1,619	1,625	188°
Zimtaldehyd	—	1,620	1,620	247°
Chinolin	1,618	1,623	1,618	239°
Bromanilin	—	—	1,627	—
Schwefelkohlenstoff	1,627	1,629	1,629	47°
Acethylentetrabromid	—	1,635	1,630	102°
α-Bromnaphtalin	1,658	1,657	1,661	279°
Jodmethylen	1,740	1,739	1,742	180

[1]) Genaue Angabe s. § 156.
[2]) Wahrscheinlich wasserhaltig.

Trotz dieser zahlreichen Flüssigkeiten wird man doch nicht immer diejenigen antreffen, die man gerade braucht. In diesen Fällen ist man auf die Herstellung von Mischungen angewiesen, kann aber nun mit viel weniger Flüssigkeiten auskommen. So lassen sich aus α-Bromnaphtalin und Jodmethylen alle Mischungen herstellen, die in der Lichtbrechung zwischen 1,658 und 1,738 liegen. Zur Vorberechnung des Brechungsindex N einer Mischung, die sich aus v_1 Volumina der einen und v_2 Volumina der andern Flüssigkeit zusammensetzt, macht man von der Tatsache Gebrauch, daß ein solcher Brechungsindex in einfacher Proportion zu den Brechungsindizes n_1 und n_2 und den Volumen v_1 und v_2 der sich mischenden Flüssigkeiten steht. Die Formel lautet (s. § 21 S. 66)

$$N = \frac{n_1 v_1 + n_2 v_2}{v_1 + v_2}.$$

Man kann in der Praxis solche Gemische sehr einfach herstellen, indem man von den betreffenden beiden Flüssigkeiten Tröpfchen in der nötigen Anzahl, alle dem Augenmaß nach gleich groß, auf einen Objektträger nebeneinander legt, dann mischt und, wenn diese Mischung der Lichtbrechung des betreffenden Minerals entspricht, auf einem Totalreflektometer ihren Brechungsindex bestimmt. Das Tropfenabzählen kann beispielsweise nach folgendem Schema geschehen.

α-Bromnaphtalin	Jodmethylen	Vol. % an Jodmethylen	Brechungsindex der Mischung
Tropfenverhältnis			
v_1	v_2		
1	0	0	1,658
9	1	10	1,665
5	1	17	1,671
4	1	20	1,673
3	1	25	1,677
5	2	29	1,680
2	1	33	1,684
3	2	40	1,689
4	3	43	1,692
1	1	50	1,697
3	4	57	1,703
2	3	60	1,706
1	2	67	1,711
2	5	71	1,715
1	3	75	1,718
1	4	80	1,722
1	5	83	1,724
1	9	90	1,730
0	1	100	1,738

Weiter ausgebaut wurde die Einbettungsmethode durch die Amerikaner im Laufe der letzten 10 Jahre und zwar durch H. E. Merwin und E. S. Larsen. Besonders der letztere hat eine ausführliche Monographie über diesen Gegenstand erscheinen lassen, worin er von 950 Mineralien nicht weniger als 500 teilweise oder vollständig neu bestimmte[1]).

Von höherbrechenden Flüssigkeiten und Schmelzen hat J. W. Retgers[2]) den geschmolzenen Phosphor vorgeschlagen, der die Eigenschaft hat, in kapillaren Räumen, also auch unter dem Deckglas längere Zeit flüssig zu bleiben. Phosphor hat flüssig den Index 2,075, fest 2,144. F. Zirkel hat in seinem Lehrbuch von 1893. I. S. 40 eine Lösung von Quecksilberjodid in Anilin und Chinolin mit dem hohen Index $n = 2{,}2$ angegeben. Die Firma E. Merck in Darmstadt war so freundlich, ein derartiges Präparat auf meinen Wunsch herzustellen. Dasselbe zeigte aber nur einen Brechungsindex von $n_D = 1{,}6051$ bei 19° und lag also zwischen dem des Anilins und Chinolins. Es hatte von dem Quecksilberjodid offenbar nichts aufgenommen. Dagegen haben sich außer dem Jodmethylen andere organische Körper, wie z. B. Piperin, als ausgezeichnetes Lösungsmittel für Jodide des Arsens und Antimons erwiesen. Auf diesem Weg erhält man Flüssigkeiten mit $n = 1{,}68$ bis 2,10. H. E. Merwin hat auch empfohlen, $Sn\,J_2$, $As\,J_3$, $Sb\,J_3$ in Jodmethylen zu lösen, wodurch Flüssigkeiten mit Brechungsindizes bis 2,28 entstehen. Bei Schmelzen von Schwefel und Selen steigt die Lichtbrechung von 2,0 bis 2,7, bei Schmelzen von Selen und Selenarsen gar von 2,7 bis 3,2. Die letzteren Schmelzen sind tief rot gefärbt und erlauben die Bestimmungen nur in weißem Licht oder in Lithionlicht, was zu dem gleichen Ergebnis führt, weil diese Schichten nur für rotes Licht durchlässig sind.

Auf der vorigen Seite wurde die Bestimmung der Brechungsindizes der Einbettungsflüssigkeiten mit dem Totalreflektometer empfohlen (s. auch 4. Kapitel § 170—173). Sie ist durch die Schnelligkeit und Sicherheit ihrer Ausführung unbedingt allen anderen Methoden in diesem Fall vorzuziehen, läßt sich aber leider nur bis zur Höhe der Lichtbrechung der Halbkugelgläser anwenden und muß für die höher brechenden Medien durch die Prismenmethode ersetzt werden. Man stellt sich hierzu nach dem Vorschlag von Merwin ganz kleine Prismen aus Stückchen eines Objektträgers her, die den betreffenden Flüssigkeitstropfen durch Kapillarwirkung festhalten.

---

[1]) H. E. Merwin und E. S. Larsen, Mixtures of amorphous sulphur and selenium as immersion media for determination of high refractive indices with the microscope. Am. Journ. **34.** 1912. 42—47. Ref. Z. X. **55.** 1915/20. 395. — H. E. Merwin, Media of high refraction for Refractive index determinations with the microscope; also a set of permanent standard media of lower refraction. Journ. Wash. Acad. Sc. **3.** 1913. 35—40. Ref. N. J. 1914. I. 178—179. — E. S. Larsen, The microscopic determination of the nonopaque minerals. U. S. Geol. Surv. Bull. 679. 1921. 294 S.

[2]) N. J. 1893. II. 130—134.

Man hat sich viele Mühe gegeben, ohne Totalreflektometer oder Spektrometer auszukommen und die Bestimmungen nur mit dem Mikroskop auszuführen. Dahin gehende Versuche wurden von E. Clerici[1]), L. Décombe[2]), F. E. Wright[3]), V. de Souza-Brandão[4]) u. a. veröffentlicht, haben aber alle noch nicht die Genauigkeit oder die Bequemlichkeit der anderen Methoden erreicht. A. Michel-Lévy wandte bei seiner erweiterten Beckeschen Methode (s. § 139) eine Serie von 16 Mineralien mit bekannten Indizes als Vergleichskörper an.

137. Die Beckesche Methode. F. Becke lenkte im Jahre 1893 die Aufmerksamkeit auf die feinen Unterschiede in der Beleuchtung, die im mikroskopischen Bilde eines Dünnschliffs unter gewissen Beleuchtungsverhältnissen überall dort entstehen können, wo verschieden brechende Mineralien in einer mehr oder weniger in der Sehrichtung liegenden Ebene aneinander stoßen. Wenn man nämlich den Kondensor senkt oder das einfallende Licht durch eine Irisblende einschnürt, so erscheint bei Einstellung auf die Oberfläche des Schliffs oder auf eine noch etwas höhere Ebene ein charakteristisches schmales Lichtband auf der Seite des stärker lichtbrechenden Minerals. Für diese Erscheinung schlug W. Salomon die seither übliche Bezeichnung der Beckeschen Linie vor[5]). Zur Einführung in diese Verhältnisse wählt man zweckmäßigerweise ein Mineral, wie etwa Apatit, das sich in der Lichtbrechung stark von dem Einbettungsmittel des Kanadabalsams unterscheidet. Dann geht man etwa zum Quarz über und wird auch hier bald die höhere Lichtbrechung gegenüber dem Balsam erkennen. Sehr deutlich tritt dieser Unterschied bei der außerordentlichen Lichtbrechung (im extremen Fall für $\varepsilon = 1{,}553$), weniger auffallend bei der ordentlichen Lichtbrechung ($\omega = 1{,}544$) gegenüber dem Balsam ($n = 1{,}539$) hervor. Um die letztere Beobachtung anzustellen, schiebt man das Gipsblatt vom Rot 1. Ordnung in Regelstellung ein (s. § 147), bringt also den Vektor $\mathfrak{a}$ in die Lage NW—SO, dreht das Quarzkorn zwischen gekreuzten Nicols in Additionslage, dreht von hier aus um 45° im Uhrzeigersinn, schaltet den Analysator aus und hat nun den ω-Vektor des Quarzes in die NS-Lage gebracht. Bei der üblichen Orientierung der Polarisatorschwingungen ebenfalls von N nach S, kann man nun die Erscheinung bei reiner ω-Brechung beobachten. Man wird bald dahin gelangen, vor allem,

---

[1]) Rendiconti R. Accad. Lincei **16.** 1907. 336—343 und **18.** 1909. 351—355; Ref. Z. X. **46.** 1909. 394 und **50.** 1912. 479. s. auch E. Sommerfeldt, Zentralbl. f. Min. usw. 1910. 488. und ferner C. Viola, Rendiconti R. Accad. Lincei, Rom, **19.** 1910. 192—197. Ref. Z. X. **52.** 1913. 301—302.

[2]) C. R. **150.** 1910. 389. Ref. Z. X. **52.** 1913. 180.

[3]) Journ. Wash. Acad. Sc. **4.** 1914. 269—271. Ref. N. J. 1916. II. 8.

[4]) Comunicações do Servico Geologico Portugal. **11.** 1915. 58—68. Auch hat derselbe Verfasser eine Skala von Lichtbrechungs-Indikatoren angegeben. Zentralbl. f. Min. usw. 1904. 14—18.

[5]) Z. X. **26.** 1896. 182.

wenn man den Kondensor senkt oder die Irisblende am Beleuchtungsapparat einschnürt, den kleinen Unterschied von 0,005 zwischen ω-Quarz = 1,544 und n-Kanadabalsam = 1,539 deutlich wahrzunehmen.

So unzweideutig nun diese Erscheinung, wenn man sie erst einmal kennen gelernt hat, auftritt, so wenig kann man dies von den Erklärungsversuchen behaupten, trotzdem in den 30 Jahren seit der Entdeckung zahlreiche z. T. sehr gründliche Untersuchungen über diesen Gegenstand angestellt worden sind. Einiges davon möge hier aufgeführt und im übrigen auf die ausführlichen Literaturangaben in den Arbeiten von K. Spangenberg verwiesen werden.

1893. F. Becke, Über die Bestimmbarkeit der Gesteinsgemengteile, besonders der Plagioklase auf Grund ihres Lichtbrechungsvermögens. S. W. A. **102.** 358—376.

— — Petrographische Studien am Tonalit der Rieserferner; darin Abschnitt über Untersuchungsmethoden. T. M. P. M. **13.** 385—389.

1905. W. O. Hotchkiss, An Explanation of the phenomena seen in the Becke method of determining index of refraction. Amer. Geol. **36.** 305—308.

1910. G. W. Grabham, An improved form of petrological microscope, with some general notes on the illumination of microscopic objects. Min. Mag. **15.** 335—349.

1913. F. E. Wright, Oblique illumination in petrographic microscopic work. Am. Journ. **35.** 63—82. Ref. N. J. 1913. II. 356.

1914. — The determination of the relativ refringence of mineral grains under the petrographic microscope. Journ. Wash. Acad. Sc. **4.** 389—392. Ref. N. J. 1916. II. 7.

1914. K. Schloßmacher, Zur Erklärung der Beckeschen Linie. Zentralbl. f. Min. usw. 1904. 75—79.

1920. A. Köhler, Methoden zur Prüfung der Lichtbrechung von Flüssigkeiten für homogene Immersion und Beschreibung einer Mikroskopierlampe für Natriumlicht. Z. f. wiss. Mikrosk. **37.** 177—202.

1920. K. Spangenberg, Einige Anwendungen und Erweiterungen der Einbettungsmethode. Zentralbl. f. Min. usw. 352—362 und 406—414.

1921. — Erscheinungen an der Grenze von dünnen Objekten im Mikroskop. Z. f. wiss. Mikrosk. **38.** 1—28. Ref. N. J. 1922. I. 139—141.

— — Einbettungsmethode und Plagioklasbestimmung. Z. X. **56.** 430—432.

1922. — Die Einbettungsmethode. Fortschritte d. Min. usw. **7.** 4—64.

Früher war man der Auffassung, daß die Helligkeits- und Farbenerscheinungen bei der v. d. Kolkschen Einbettungsmethode hauptsächlich auf prismatischer Ablenkung und Zerstreuung des Lichts und bei der

Beckeschen Linie mehr auf Totalreflexion beruhe. In den neueren Darlegungen aber neigt man zu den Ansichten, daß bei sehr dünnen Präparaten, die erheblich unter Dünnschliffdicke liegen, die Interferenzerscheinungen und bei sehr dicken Präparaten die Totalreflexion und die Brechung eine Rolle spielen, während bei den eigentlichen Dünnschliffen ein komplexes Phänomen auftrete. Hier möge im Anschluß an die Beckesche Auffassung nur jener Strahlenverlauf eine Erklärung finden, der in der Hauptsache die Erscheinungen am eigentlichen Dünnschliff bewirkt. In Fig. 556 sei die Stelle eines Dünnschliffs dargestellt, in der bei *B* die beiden Mineralien von verschiedener Lichtbrechung in einer vertikalen

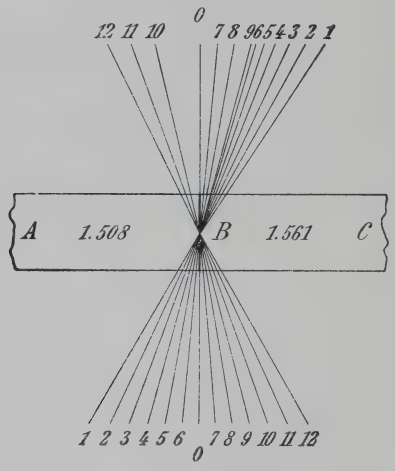


Fig. 556.

Ebene zusammenstoßen, und deren Beleuchtung durch das von unten konvergent einfallende, durch die Linien 1 bis 12 angedeutete Licht erfolgt. Über und unter dem Schliff *ABC* mögen vorläufig Medien von gleicher Lichtbrechung wie die eingebetteten Mineralteile angenommen werden. Die Strahlen 1 bis 12 erfahren nun durch Brechung und Totalreflexion an der Grenzschicht Ablenkungen, wie sie in der Figur für Medien vom Brechungsindex 1,508 und 1,561 gezeichnet sind. Von diesen Strahlen werden 1 bis 6 nach oben rechts gebrochen, 7 bis 9 total reflektiert — wenn bei 9 etwa der Grenzwinkel der Totalreflexion liegt — und 10 bis 12 nach oben links mit einer kleinen Aufrichtung gebrochen. Die symmetrisch einfallende Beleuchtung ist also nach dem Durchlaufen des Dünnschliffs an der Grenzschicht unsymmetrisch verteilt; es findet eine Konzentration des Lichtes am Rande des stärker brechenden Mediums statt, wo mehr Licht austritt, als an irgend einer andern Stelle auf *AB* oder *BC*. Diese Konzentration macht sich im mikroskopischen Bild (Taf. IV Fig. 1) in Gestalt einer zarten, hellen Linie bemerkbar. Stellt man das Mikroskop auf die Unterseite des Schliffs ein, so kehrt sich die

Erscheinung um, und man sieht nun die helle Umrandung auf der Seite des schwächer lichtbrechenden Minerals (Taf. IV Fig. 2). Bei mittlerer Einstellung sieht man die Grenze scharf und ohne irgend eine unsymmetrische Schattierung in der Beleuchtung; hebt man aber den Tubus um ein weniges, sodaß die Oberfläche des Schliffs in die Bildebene rückt oder scharf gesehen wird, so tritt die Erscheinung um so deutlicher hervor, je mehr man den Beleuchtungskegel bis zum Grenzwinkel der Totalreflexion einengt. Wenn man also nur die Strahlen von 4 bis 9 einfallen läßt, erkennt man jene Linie gut, während sie bei stärkerer Konvergenz verwaschen wird und ganz verschwindet. Je geringer die zu beobachtendeu Unterschiede in der Lichtbrechung der beiden Mineralien sind, umso größer ist der Grenzwinkel der Totalreflexion und umso flacher müssen die Randstrahlen des Beleuchtungskegels die Grenzschicht treffen, umso stärker muß also auch die Einengung durch Senken des Kondensors oder durch eine Irisblende erfolgen. Bei sehr dicken Schliffen tritt die Erscheinung weniger deutlich hervor, weil jeder Punkt der vertikalen Grenzebene zum Ausgang der unsymmetrischen Lichtverteilung dienen kann, und weil durch die Übereinanderlagerung dieser Ausgangspunkte in erheblichen Niveauunterschieden die Wirkung bei der Tubusbewegung nicht so plötzlich eintritt.

Alle nicht vollkommen reinen und nicht vollkommen unversehrt gebliebenen, sowie stärker geneigten Grenzflächen sind von der Beobachtung auszuschließen; es soll die Grenze möglichst senkrecht zum Schliff liegen. Von dem Eintreffen der letzteren Bedingung überzeugt man sich leicht, wenn man das Mikroskop auf verschiedene Höhen jener Ebene einstellt und dabei keine Seitenverschiebung wahrnimmt.

Die unsymmetrische Beleuchtung, die bei gehobenem Tubus in der Form der hellen Beckeschen Linie auf der Seite des stärker lichtbrechenden Minerals auftritt, wird noch verstärkt, wenn man das Licht schief einfallen läßt (Taf. IV Fig. 3). Man kann hier wie v. d. Kolk verfahren, indem man den Finger oder eine Scheibe zwischen Spiegel und Polarisator seitlich vorschiebt oder den Wrightschen Schieber oder das Exnersche Mikrorefraktometer (s. S. 547) anwendet.

Angenommen, diese Abblendung erfolge von unten her, und von dem zuerst symmetrisch einfallenden Lichtbündel 1 bis 12 (Fig. 557) komme nur die ausgezogene Hälfte zum Durchtritt. Dieses Licht falle auf ein Mineralkorn BC, das von einem schwächer brechenden Medium AB und CD umgeben werde. Der in Fig. 557 nach den eingezeichneten Brechungsindizes richtig konstruierte Strahlengang läßt erkennen, daß der dem einfallenden Lichtkegel abgewandte Rand des Einschlusses stärker beleuchtet wird, als der zugewandte, oder, wenn man die mikroskopische Umkehrung berücksichtigt, daß im Bilde ein stärker brechendes Korn einen hellen Rand auf der Seite des einfallenden Lichtes zeigt. Auch sieht man aus Fig. 557, daß die Unterschiede an den beiden

Seiten des Korns deutlicher hervortreten, wenn außer der schiefen Beleuchtung noch eine Einschnürung des einfallenden Lichtkegels stattfindet, wenn nämlich die Strahlen 1, 2, 3 und 10, 11, 12 fortfallen.

In den durch die Figuren 556 und 557 dargestellten günstigsten Verhältnissen wurde angenommen, daß bei dem Übergang des Lichtes aus dem Schliff in das umschließende Medium keine Ablenkung stattfinde, wie dies bei Quarz und Orthoklas in Kanadabalsam auch annähernd der Fall ist. Weniger deutlich treten die Beleuchtungsverhältnisse auf, wenn das umschließende Medium einen erheblich niedrigeren Index hat, weil dann die Lichtbüschel beim Austritt stark zerstreut werden. Will man beispielsweise Augit und Granat vergleichen, so muß man nicht Kanadabalsam, sondern nach Becke Jodmethylen als Einschlußmittel verwenden.

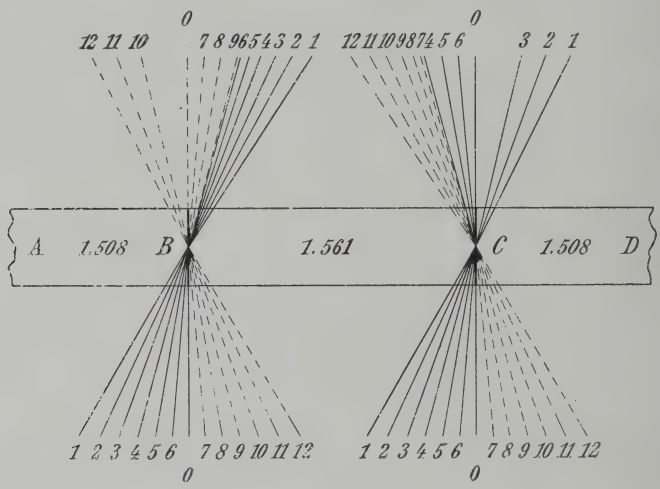


Fig. 557.

Dank dem freundlichen Entgegenkommen des Herrn Kollegen Becke konnten in Tafel IV die 1893 in den Sitzungsberichten der Wiener Akademie veröffentlichten Illustrationen, die seine Methode so vortrefflich erläutern, Aufnahme finden. In den vier Figuren ist ein und dieselbe Stelle eines Dünnschliffs aus den mikroklinreichen Randpartien des Tonalitkerns der Rieserfernergruppe in Tirol abgebildet.

Zur Orientierung über die vorhandenen Mineralien werfe man zuerst einen Blick auf Fig. 4 dieser Tafel, die den Schliff zwischen gekreuzten Nicols zeigt. Man erkennt unten ein großes rundliches Mikroklinkorn mit deutlicher Gitterstruktur, darüber wenig nach rechts verschoben ein noch etwas größeres Korn desselben Minerals, bei dem die Verzwillingung nicht erkennbar ist, weil der Schnitt ungefähr nach der Fläche *M* geht. Ziemlich genau in der Mitte des großen Korns liegt ein rundlicher Quarz-

einschluß, und von dem gleichen Mineral finden sich zwei eckige Einschlüsse im kleineren Mikroklin links in der Gitterstreifung. In den rechten Rand des oberen Korns schiebt sich eine mikropegmatitische Verwachsung von Quarz und Plagioklas (Oligoklas-Andesin) ein, die noch drei bis vier (in Fig. 4 hell erscheinende) Mikroklinkörnchen umschließt. Die übrigen Teile des Schliffs bestehen aus einem körnigen Gemenge von kleinen Mikroklinkörnern, Quarz, Plagioklas und Biotit. Unten rechts im Quarz hebt sich ein Zirkonsäulchen deutlich hervor.

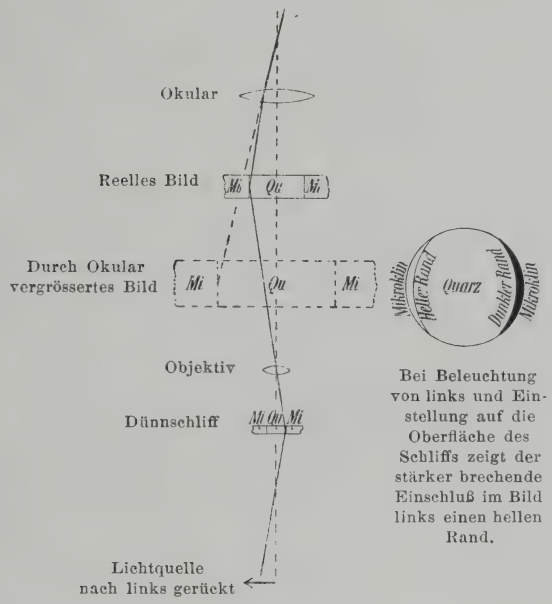


Fig. 558.

Taf. IV Fig. 1 ist aufgenommen bei symmetrischer Beleuchtung und Einstellung auf die Oberfläche des Schliffs. Man sieht — am besten mit einer schwachen Lupe — auf der Innenseite der Ränder der Quarzkörner und der Mikropegmatite eine zarte helle Linie und ferner, besonders im Mikroklin, helle Striche, welche feinen Mikroperthitspindeln entsprechen. Das Zirkonsäulchen unten rechts im Quarz ist hell beleuchtet. Die drei bis vier im Mikropegmatit liegenden Mikrokline sind dunkler als ihre Umgebung, da der Mikropegmatit aus Quarz und Oligoklas-Andesin besteht und also höhere Lichtbrechung hat.

Taf. IV Fig. 2 ist aufgenommen bei ebenfalls symmetrischer Beleuchtung aber Einstellung auf die Unterseite des Schliffs. Die hellen Beckeschen Linien liegen jetzt nicht mehr an der Innenseite der Quarzeinschlüsse, sondern an deren Außenseite, also im niedriger brechenden Mikroklin;

infolgedessen heben sich auch die drei bis vier Mikroklinkörnchen im Mikroperthit hell von ihrer Umgebung ab. Die Mikroperthitspindeln sind in dunkle Striche umgewandelt, auch der Zirkon erscheint dunkel auf hellem Grund.

Taf. IV Fig. 3 zeigt eine Aufnahme bei schiefer Beleuchtung und Einstellung auf die Oberfläche des Objektes. Die Lichtquelle ist nach links gerückt, und daher sind — unter Berücksichtigung des aus Fig. 558 zu ersehenden Einflusses der mikroskopischen Bildumkehrung — die linken Seiten der stärker brechenden Mineralien, wie Quarz usw., hell beleuchtet, während bei den schwächer brechenden Einschlüssen, wie bei den mehrfach erwähnten Mikroklinen im Mikroperthit, diese helle Seite rechts liegt. Durch die einseitige Verteilung des Lichtes wird das Relief bedeutend verstärkt, was man auch an den wulstig erscheinenden Mikroperthitspindeln und an dem Zirkonkristall wahrnehmen kann.

Der große Vorteil der Beckeschen Methode liegt in der Vermeidung von Flüssigkeiten und der Verwendung nur jener Apparate, die an jedem modernen Polarisationsmikroskop ohne weiteres angebracht sind. Sie ermittelt zunächst nur den Unterschied in der Brechung zweier Mineralien im Dünnschliff, erreicht aber hier eine Genauigkeit, die keiner anderen mikroskopischen Methode mit solcher Leichtigkeit zugänglich ist. So läßt sich nach Einstellung des Polarisators an zwei in gekreuzter Stellung nebeneinander liegenden Quarzen sofort zeigen, daß die eine von der ordentlichen Welle ($\omega = 1{,}544$) durchlaufene Lamelle schwächere Lichtbrechung besitzt als die andere, die von der außerordentlichen Welle ($\varepsilon = 1{,}553$) durchlaufen wird. Selbst die verschiedene Lichtbrechung in den Zwillingslamellen eines Leucitdünnschliffs, die kaum mehr als 0,001 beträgt, ist zu erkennen. Dreht man einen solchen Zwilling derart gegen das zentral einfallende und durch eine Irisblende stark eingeengte, polarisierte Licht, daß dessen Schwingungsrichtung mit dem größeren Vektor (a) in der einen Lamelle und dem kleineren (c) in der anderen Lamelle übereinstimmt, so erscheint bei Hoch(Tief)stellung die letztere Lamelle deutlich heller (dunkler) als die andere.

138. Anwendungsgebiet der Beckeschen Methode. Bei Untersuchung der Dünnschliffe holokristalliner Gesteine kann man häufig aus dem Brechungsverhältnis eines bekannten Minerals zu einem unbekannten eine Diagnose ableiten. Besonders erfolgreich wird dieser Weg bei der Bestimmung der Unterabteilungen der Feldspäte beschritten. Ist Quarz vorhanden, so hat man in jedem Korn ein Vergleichsmaterial mit dem Index 1,544 (ω) und in günstigen Schnitten auch ein solches mit dem Index 1,553 (ε).[1]). Überblickt man nun die Brechungsindizes in der

[1]) Der Nephelin eignet sich, wie schon Becke hervorhob, nicht gut zu diesen Vergleichen, weil er nicht so konstant wie der Quarz aufgebaut ist und in der Lichtbrechung bei ε und ω um $\pm$ 0,004 schwankt.

Feldspatgruppe, wie sie im zweiten Teil dieses Buches und teilweise auch in der nachstehenden Figur aufgeführt sind, so erkennt man, daß Orthoklas, Mikroklin und Albit immer niedrigere, Labrador und Anorthit immer höhere Lichtbrechung als Quarz und zwar in jeder Schnittlage zeigen müssen, und daß für die sauren Plagioklase und solche von mittlerer Basizität, je nach der relativen Lage der Vektoren in den aneinander stoßenden Blättchen, mannigfache, praktisch zu verwertende Beziehungen auftreten, die aus der graphischen Darstellung in Fig. 559 zu erkennen sind. Dieser Zeichnung liegen folgende Brechungsindizes der Plagioklase zugrunde.

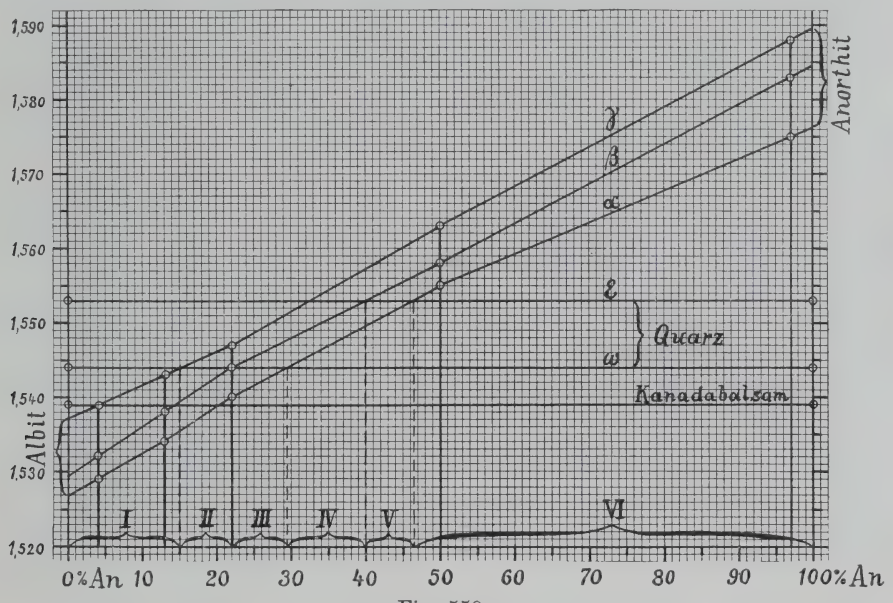


Fig. 559.

	Anorthitgehalt in Molekularprozenten	α	β	γ
Albit	4 %	1,529	1,532	1,539
Oligoklas-Albit	13 %	1,534	1,538	1,543
Oligoklas	22 %	1,540	1,544	1,547
Labrador	50 %	1,555	1,558	1,563
Anorthit	97 %	1,575	1,583	1,588

Zunächst kann man die Plagioklase in drei Gruppen trennen, die wegen der späteren Einteilung mit I + II, III + IV und V + VI bezeichnet werden mögen, und für die bezüglich des mittleren Brechungsindex β folgende Verhältnisse gelten:

I + II	III + IV	V + VI
$\beta \begin{matrix} < \omega \\ < \varepsilon \end{matrix}$	$\beta \begin{matrix} > \omega \\ < \varepsilon \end{matrix}$	$\beta \begin{matrix} > \omega \\ > \varepsilon \end{matrix}$

Schnitte von Plagioklasen annähernd senkrecht zu einer optischen Achse lassen hiernach immer die Scheidung von I + II einerseits, von III + IV andererseits vornehmen, lassen also immer erkennen, ob Albit und saurer Oligoklas oder basischere Glieder vorliegen. Grenzen diese Schnitte an einen starke Doppelbrechung zeigenden Quarz, so läßt sich auch noch der Vergleich mit ε anstellen, und die Gruppe III + IV von V + VI, d. h. basischer Oligoklas und saurer Andesin wieder von den basischeren Gliedern sondern. Bequem für die Beobachtung sind zuweilen auch die beliebig getroffenen Plagioklase, die also Vergleiche von ω mit α_1 und γ_1 anzustellen erlauben. Bei einer systematischen Behandlung der Frage muß man sich erinnern, daß in jedem beliebigen Durchschnitt eines Plagioklases zwei Vektoren liegen, die nicht mit den Hauptvektoren a, b oder c übereinzustimmen brauchen, von denen aber der eine Vektor zwischen a und b, der andere zwischen b und c liegen muß, sodaß wir die zugehörigen Brechungsindizes mit α_1 und γ_1 bezeichnen können; α_1 kann bis β hinauf, γ_1 bis β hinunter rücken.

Sucht man nun im Schliff solche Stellen auf, in denen aneinander stoßende Quarz- und Feldspatkörner gleichzeitig auslöschen, so müssen die Hauptvektoren der beiden Schnitte parallel laufen, d. h. es muß der größere Vektor im Feldspat mit dem im Quarz gleich gerichtet sein, oder senkrecht auf ihm stehen. Bezeichnet man die erste Orientierung als Parallelstellung, die zweite als Kreuzstellung, so kann man mit Becke für die vergleichenden Bestimmungen der Indizes, im Anschluß an die obige Figur 559 folgende Gruppierung vornehmen:

Gruppe	Parallelstellung		Kreuzstellung		Anorthitgehalt in Mol. Prozenten	Bezeichnung
I	$\omega > \alpha_1$	$\varepsilon > \gamma_1$	$\omega > \gamma_1$	$\varepsilon > \alpha_1$	0—15 %	Albit bis Oligoklasalbit
II	$\omega > \alpha_1$	$\varepsilon > \gamma_1$	$\omega = \gamma_1$	$\varepsilon > \alpha_1$	15—22 %	Saurer Oligoklas
III	$\omega = \alpha_1$	$\varepsilon > \gamma_1$	$\omega < \gamma_1$	$\varepsilon > \alpha_1$	22—29,5 %	Basischer Oligoklas
IV	$\omega < \alpha_1$	$\varepsilon = \gamma_1$	$\omega < \gamma_1$	$\varepsilon > \alpha_1$	29,5—40 %	Saurer Andesin
V	$\omega < \alpha_1$	$\varepsilon < \gamma_1$	$\omega < \gamma_1$	$\varepsilon = \alpha_1$	40—46,5 %	Basischer Andesin
VI	$\omega < \alpha_1$	$\varepsilon < \gamma_1$	$\omega < \gamma_1$	$\varepsilon < \alpha_1$	46,5—100 %	Labrador bis Anorthit

Es lassen sich also, lediglich durch Vergleich der Lichtbrechung im Dünnschliff mit Hilfe der Beckeschen Linie, Albit, Oligoklas, Andesin voneinander und von den basischeren Gliedern unterscheiden, und es kann in manchen günstigen Schnitten auch noch in der Reihe der Oligoklase und Andesine eine weitere Trennung vorgenommen werden.

139. Erweiterung der Beckeschen Methode. A. Michel-Lévy[1]) hat bei Abwesenheit von Quarz den Schliff von seinem Deckglas befreit, den Kanadabalsam mit Benzol entfernt und das mit einem Schreib-

[1]) Étude sur la détermination des Feldspats usw. Paris 1894. 58—63.

diamant geritzte fragliche Mineral mit einer Flüssigkeit von bekanntem Index bedeckt. Um Reste von Balsam nicht anzugreifen, wählte er eine passend verdünnte Kleinsche Lösung. Wegen der meistens stark abweichenden Dispersion von Flüssigkeit und Mineral sind Farbenerscheinungen zu erwarten, über die auch H. Ambronn Betrachtungen anstellte; Ber. K. Sächs. Ges. d. Wiss. Leipzig 1896. 8 S. Eine Näherungsmethode, die mit einer Flüssigkeit beide Indizes eines doppelbrechenden Blättchens zu bestimmen erlaubt, hat ebenfalls H. Ambronn angegeben; Ber. K. Sächs. Ges. d. Wiss. 1893. 3 S. Ferner hat K. Spangenberg die Verhältnisse untersucht, die bei den doppelbrechenden Feldspäten und den einfachbrechenden Einbettungsmitteln auftreten; Zentralbl. f. Min. usw. 1920. 354—357.

Da die Empfindlichkeit der Methode wohl neunmal größer ist als der Unterschied der hier hauptsächlich in Betracht kommenden Vergleichsindizes, nämlich des ordentlichen und außerordentlichen Brechungsindexes des Quarzes, so zeigte W. Salomon[1]), daß man auch Quarzschnitte zum Vergleich heranziehen könne, die nicht parallel zur c-Achse getroffen sind. Er ermittelt das betreffende ε' aus der Schiefe des Schnittes, wie er sich aus dem im Konoskop zu beobachtenden Achsenaustritt ableiten läßt. Auch hat er die Methode dadurch erweitert, daß er sich nicht auf die S. 562 angegebene Orientierung der Feldspat- und Quarzvektoren in Parallelstellung und Kreuzstellung beschränkte, sondern Zwischenorientierungen oder Winkelstellungen, wie sie später K. Spangenberg genannt hat[2]), heranzog. Er denkt sich die Beckesche Linie durch das Zusammenwirken eines aus ω und ε' entstehenden scheinbaren mittleren Brechungsindex zustandegekommen. Wenn das Azimut der Polarisatorschwingungen unter φ^0 gegen den Hauptschnitt des Quarzes gelegt ist, so berechnet K. Spangenberg die Größe des „scheinbaren mittleren Brechungsindex“ zu

$$n_q = \omega \sin^2 \varphi + \varepsilon' \cos^2 \varphi .$$

Beobachtet man die Lichtlinie nur auf einer Seite der Grenze, so kann dies nur durch Brechungsverhältnisse folgender Art bewirkt worden sein:

$$\alpha' < \gamma' < n_q \qquad \text{oder} \qquad \gamma' > \alpha' > n_q .$$

Es können aber auch Fälle eintreten, die folgendem Schema entsprechen:

$$\varepsilon' > \gamma' > \omega \qquad \text{oder} \qquad \varepsilon' > \alpha' > \omega .$$

Hier treten die Lichtlinien auf beiden Seiten der Grenze auf und sind bei einem bestimmten φ gleich intensiv. Für diesen Fall ist entweder

$$\gamma' = n_q = \varepsilon' \cos^2 \varphi + \omega \sin^2 \varphi$$
$$\text{oder } \alpha' = n_q = \varepsilon' \cos^2 \varphi + \omega \sin^2 \varphi .$$

[1]) Z. X. **26.** 1896. 178—187; s. a. N. J. B. B. **11.** 1897. 358 und 392.
[2]) Zentralbl. f. Min. usw. 1920. 357—362.

Auf diese Weise ist ein Weg gegeben, nicht nur qualitative, sondern auch quantitative Bestimmungen durchzuführen. So kann man unter Anwendung eines Analysators außer dem Polarisator noch Unterschiede in manchen Gruppen der Plagioklase wahrnehmen, über die im einzelnen in der Spangenbergschen Arbeit nachgelesen werden möge. Auch läßt sich bei den sauren Plagioklasen das Brechungsverhältnis gegenüber dem Kanadabalsam heranziehen, worüber das Bild 559 ebenfalls Aufschluß gibt.

C. Viola[1]) fand, daß bei dem Herunterschrauben des Tubus, gerade bis zum Verschwinden der hellen Linie, das Mikroskop auf die vom tiefsten Punkt der Grenzfläche total reflektierten Strahlen eingestellt ist, und daß man also, beim Heraufbewegen bis zur Einstellung auf die Oberfläche des Schliffs, die Strecke *d*—*h* der Chaulnesschen Methode finden kann, woraus sich mit Hilfe des Brechungsindex die Dicke eines Schliffs ermitteln läßt. Der gleiche Autor hat gefunden, daß der Unterschied der Indizes zweier im Dünnschliff aneinander stoßender Mineralien sich aus der Öffnung der Irisblende, die für die Grenze der Beleuchtung nötig ist, berechnen läßt. Als Grenze der Beleuchtung bezeichnet Viola den zur Entstehung der Beckeschen Linie gerade noch erforderlichen Beleuchtungsgrad.

140. Chagrin und Relief der Mineralien im Dünnschliff. Beobachtet man die verschiedenen Mineralien eines Dünnschliffs, der in gewöhnlicher Weise in Kanadabalsam eingebettet ist, so sieht man bei genauer Einstellung die Oberflächen der einen glatt und eben, die der andern rauh und runzelig. Man hat letztere, wegen der Ähnlichkeit mit der Oberfläche des Chagrinleders, chagrinierte Oberflächen genannt[2]). Die Bezeichnung Chagrin soll sich von dem türkischen oder persischen Wort sagrî für (Pferde-)Rücken ableiten und mit dem genarbten Leder, das man aus Pferdehaut herstellt, in Zusammenhang stehen. Ferner sieht das mikroskopische Bild so aus, als wenn manche Mineralien erhöht, andere vertieft wären, obgleich sie doch in Wirklichkeit alle in einer Ebene liegen. Diese Erscheinung bezeichnet man als das Relief der Mineralien.

Aus den Darstellungen in den Paragraphen 136—139 erklärt sich die chagrinierte Oberfläche als eine Erscheinung, die von der Beschaffenheit der Mineraloberfläche und dem Einbettungsmedium herrührt. An vollkommen polierten ebenen Flächen ist niemals ein Chagrin zu beobachten, auch nicht, wenn die Lichtbrechungen im Korn und in der Umhüllung stark voneinander abweichen. Ebenso verschwindet dieses für manche Mineralien so charakteristische Merkmal, wenn bei rauhen Oberflächen Korn und Hülle gleiche Indizes haben. In beiden Fällen findet ein regel-

[1]) T. M. P. M. **14.** 1895. 554—562 u. **16.** 1897. 150—154. Auch Rendiconti R. Accad. Lincei **5.** 1896. 212—216. S. hierzu K. Spangenberg, Fortschritte f. Min. usw. **7.** 1922. 42 u. 59.

[2]) Bull. Soc. Min. Fr. **3.** 1880. 62—68.

mäßiger Übergang der Lichtwellen aus dem einen Medium in das andere statt, wenn dieser Übergang auch im ersten Fall mit einer Ablenkung verbunden ist. Ist dagegen der eingeschlossene Körper rauh und stärker oder schwächer lichtbrechend als seine Bedeckung, so erfahren die Wellen an den infolge ungenügender Politur mannigfach geneigten Flächenstückchen der Grenzebene unregelmäßige Zerstreuung. Ferner können viele Wellen unter größerem als dem Grenzwinkel auffallen und daher eine Totalreflexion erleiden. Mit dieser unregelmäßigen Verteilung des Lichtes ist die unregelmäßige Beleuchtung verbunden, welche die chagrinierte Oberfläche hervorruft.

J. Thoulet hat schon 1880 [1]) den Brechungsindex eines Minerals im Dünnschliff auf die Weise bestimmt, daß er die Oberfläche so lange mit Flüssigkeiten verschiedener Brechung benetzte, bis die Rauhigkeit verschwand. Er gab damit ein Verfahren an, wie es ähnlich von A. Michel-Lévy 1894 bei seinen Feldspatstudien angewandt wurde (s. oben S. 562).

Auch das Relief der Mineralien erklärt sich aus dem Inhalt der vorangegangenen Paragraphen. Die Ränder der stärker brechenden Einschlüsse erscheinen heller als die Umgebung und tragen damit bei zu der optischen Täuschung einer Annäherung des Objektes, also eines Heraustretens aus der Umgebung. Bei Hochstellung des Tubus glaubt man, wegen der Verwaschenheit der Beckeschen Linie des kleinen, stärker lichtbrechenden Korns, dessen ganze Fläche heller und damit auch etwas höher zu sehen. Stellt man auf die untere Fläche des Schliffs ein, so erscheint diese umso stärker gehoben, je größer der Index ist (vergl. § 133), und diese Tatsache, verbunden mit dem Bewußtsein wirklich gleicher Dicke, verstärkt noch die Vorstellung, daß die obere Fläche reliefartig heraustrete. Umgekehrt erscheinen schwächer lichtbrechende Durchschnitte vertieft und bei vollkommener Klarheit wie Löcher im Präparat. Diese optischen Täuschungen mögen aber auch durch scheinbaren Licht- und Schattenwurf verursacht werden. Wenn man z. B. bei den eckigen Quarzkörnern im unteren Mikroklin der Fig. 3 Taf. IV den Eindruck gewinnt, als wenn es sich gleichsam um ein von links her von der Sonne beleuchtetes Plateau handelte, so müssen die 3 bis 4 Mikroklinkörnchen im Mikropegmatit rechts wie Depressionen aussehen, die von steilen Rändern umgeben sind, da hier Licht- und Schattenwurf umgekehrt liegen.

Die Intensität des Reliefs ist zur Orientierung im Schliff von großer Bedeutung, indessen darf man nicht einmal schätzungsweise die Unterschiede der Brechungen danach bestimmen wollen, weil die Art der Präparation von zu großem Einfluß auf jene Intensität ist.

Über die in älterem Kanadabalsam entstehenden Punktierungen und Ränderbildungen, die mit der Oberfläche des Schliffs im manchen Beziehungen stehen, veröffentlichte C. Benedicks [2]) einige Beobachtungen.

[1]) Siehe Fußnote 2 auf voriger Seite.

[2]) Bull. Geol. Inst. Upsala. **5.** 1901. 271—275.

Sechster Abschnitt.

Bestimmung der Doppelbrechung.

141. Allgemeines. Die Doppelbrechungen $\varepsilon - \omega$ oder $\gamma - \alpha$ sind ebenso wie die Brechungsindizes selbst für eine jede Mineralart in hohem Grade charakteristisch. Man vermag die Stärke der Doppelbrechung in gewissen Grenzen zu schätzen, wenn man die Höhe der Interferenzfarben jener Schnitte von bekannter Dicke zwischen gekreuzten Nicols bestimmt, die parallel zur Ebene der optischen Achsen liegen. Die ein solches Blättchen durchlaufenden Wellen schwingen ja parallel a und c und besitzen Geschwindigkeiten, die den Brechungsindizes γ und α entsprechen.

Bei farblosen Blättchen und bei niedriger Dispersion der Doppelbrechung kann ein mit den Farben der Newtonschen Skala vertrautes Auge eine bestimmte Interferenzfarbe nicht nur in bezug auf den allgemeinen Farbenton, sondern auch in bezug auf die Höhe der Ordnung meistens richtig ansprechen. Bei gefärbten Mineralien und bei starker Dispersion der Doppelbrechung aber können die Farben erheblich abweichen, sodaß man sich hier eines besondern, in Paragraph 143 erläuterten Verfahrens bedient, um über das Maß der Doppelbrechung Aufklärung zu erhalten.

Hat man einmal die Newtonsche Farbe ermittelt, die ein bestimmtes Mineralblättchen zeigt, so kennt man nach der Tabelle auf S. 131 den entsprechenden Gangunterschied $s_\gamma - s_\alpha$. Ist alsdann auch noch die Dicke d des Blättchens ermittelt, so findet man die Doppelbrechung nach der Formel auf S. 141

$$\gamma - \alpha = \frac{s_\gamma - s_\alpha}{d} .$$

Auf die Methode der Dickenbestimmung wird w. u. einzugehen sein; hier möge nur vorausgeschickt werden, daß man mit Schroeder v. d. Kolk[1]) bei losen körnigen Massen eine schätzungsweise Bestimmung unter der plausiblen Annahme machen kann, daß solche losen Körner sich auf die flache Seite zu legen pflegen, und daß also die Dicke eines derartigen Kornes höchst wahrscheinlich geringer ist als die Breite. Ähnliche Überlegungen führen zu Dickenbestimmungen bei Prismen, wie sie etwa in den Tonschiefernädelchen (Rutil) auftreten.

142. Die Michel-Lévysche Farbentafel. Um das eben skizzierte, für mineralogische Zwecke wohl zuerst von E. Mallard[2]) vorgeschlagene Verfahren, das aus der Höhe der Interferenzfarben die Doppelbrechung ableitet, nutzbringend zu gestalten, ist nach Michel-Lévys Vorgang[3])

[1]) „Tabellen“ S. 17.
[2]) Bull. Soc. Min. Fr. **6.** 1883. 129. Traité de Cristallogr. II. 1884. 399.
[3]) Minéraux des Roches. 1888. 64 und Tafel.

auf Tafel I eine farbige Darstellung entworfen, die aus der als bekannt vorausgesetzten Dicke und der Interferenzfarbe die zugehörige Doppelbrechung direkt abzulesen gestattet.

Da man hier die Interferenzfarben der Kristalle mit den auf Papier niemals naturgetreu wiederzugebenden Newtonschen Farben vergleicht, so könnte auf den ersten Blick diese Methode recht ungenau erscheinen; die Praxis indessen lehrt uns die Hinfälligkeit dieses Bedenkens. In den meisten Fällen schwankt man ja bei der Bestimmung eines Minerals zwischen nur wenigen Arten, sodaß man aus einer nur angenäherten Bestimmung der Doppelbrechung oft in der Lage ist, eine sichere Diagnose zu stellen.

Zur Benutzung der Tafel liest man an der linken vertikalen Seite die in Frage kommende Dicke ab und geht dann auf einer dieser Dicke entsprechenden horizontalen Linie bis zu der beobachteten Interferenzfarbe. Die an dieser Stelle die Tafel schräg durchsetzenden Linien — im allgemeinen wird man zwischen mehreren schwanken — führen zu den oben oder rechts stehenden, in Frage kommenden Mineralien. Es ist zu bedenken, daß hier nur die maximale Doppelbrechung $\gamma - \alpha$ oder $\varepsilon - \omega$ angegeben ist, und daß man also für eine sichere Diagnose nur Blättchen oder Körnchen heranziehen darf, die einigermaßen parallel zur Ebene der optischen Achsen geschliffen sind, oder daß man von vielen Blättchen gleicher Dicke nur solche mit den höchsten Interferenzfarben berücksichtigen soll. — Wegen der außerordentlichen Einfachheit und auch relativen Sicherheit, mit der die Bestimmungen auszuführen sind, verdient diese Farbentafel die ausgedehnteste Anwendung [1]).

143. Der Babinetsche Kompensator. Handelt es sich um eine genaue Messung der Doppelbrechung, so benutzt man den Babinetschen Kompensator [2]). Ein solches Instrument besteht aus zwei winkelgleichen, sehr

[1]) Die Tafel I der ersten Lieferung ist dieser dritten Lieferung in einer Neubearbeitung beigegeben worden. Sie beruht auf einem sorgfältigen Vergleich mit den Farben des Siedentopfschen Quarzkeils (s. § 145). Die Abweichungen von früheren Darstellungen beruhen z. T. auf der Lichtempfindlichkeit der gealterten Fabrikate. Leider ist man bei der Herstellung des Irisdrucks, wie er hier vorliegt, noch nicht zur Verwendung der so lichtbeständigen Indantrenfarben gelangt. Es wird sich daher immer noch empfehlen, die Tafel, wenn man sie als Wandtafel aushängt, durch einen schwarzen Karton vor Licht zu schützen. Ferner darf nicht verschwiegen werden, daß durch eine unvorhergesehene, vom Arbeiterrat plötzlich befohlene mehrtägige Unterbrechung des Drucks, ein Eintrocknen der Farbpasten eintrat, die dem Ineinanderwalzen der einzelnen Farbtöne hinderlich war. Dadurch ist die Grenze des Rots I. Ordnung mit seinem violetten Saum nicht weit genug nach der blauen Seite ausgebreitet worden. Der Übergangston, der jetzt zwischen 520 und 540 $\mu\mu$ liegt, sollte das Gebiet zwischen 540 und 570 einnehmen.

[2]) Wegen Präzisionsmessungen, wie sie übrigens auf mineralogischem Gebiete selten verlangt werden, s. K. E. F. Schmidt, Zur Konstruktion des Babinetschen Kompensators, Zeitschr. f. Instr. **11.** 1891. 439—444.

spitzen (nicht scharfen) Quarzkeilen — bei meinem Fueßschen Fabrikat beträgt der Winkel 1° 18′ — die in verschiedener Orientierung aus einem Quarzkristall herausgeschnitten sind. Mit den in Fig. 560a und 560b zu oberst und zu unterst gezeichneten Flächen laufen diese Keile parallel der Hauptachse, weiter aber liegt bei dem unteren diese Hauptachse parallel zur brechenden Kante des Keils, bei dem oberen senkrecht dazu, wie dies in der Figur durch die Schraffierung und die stark ausgezogenen Kanten angedeutet ist. Mit ihren geneigten Flächen übereinander gelegt, bilden die beiden Keile einen Körper, der mit einer planparallelen Platte umsomehr verglichen werden darf, als die zwischengeschaltete Luftschicht nahezu den Endflächen parallel läuft.

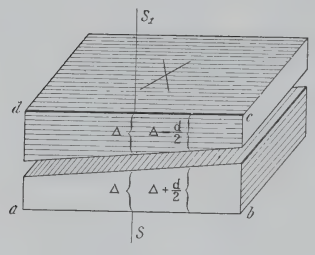


Fig. 560 a.

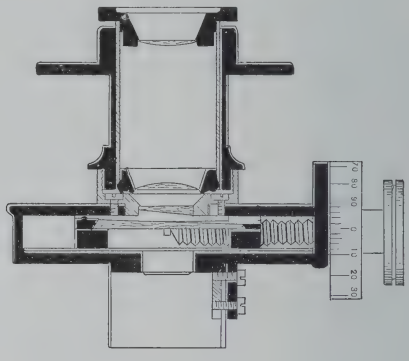


Fig. 560 b.
Okular mit Babinetschem Kompensator von R. Fueß.

Fallen auf die untere Fläche $a\,b$ parallele, homogene Lichtwellen senkrecht auf, so teilen sich diese in zwei Wellen, wie in jedem doppelbrechenden Körper unter ähnlichen Verhältnissen. Um bei den eintretenden Interferenzen maximale Helligkeit zu erhalten, stellt man die Fläche $a\,b\,c\,d$ des Kompensators unter 45° gegen die Nicolhauptschnitte. Lenkt man nun zunächst seine Aufmerksamkeit auf jene Wellen, die in der Richtung $s\,s_1$ gleich dicke Schichten beider Keile durchlaufen, so wird in dem unteren Keil die eine Welle gegen die andere ebenso viel beschleunigt, wie sie in dem oberen Keil verzögert wird; es kommt nach dem Durchlaufen beider Keile keinerlei Gangunterschied zustande, und es muß also zwischen gekreuzten Nicols eine dunkle Linie in der Mitte des Keils sichtbar werden, auf der alle auf demselben Querschnitt wie $s\,s_1$ durchgehenden Wellen austreten.

Wenn aber eine Welle rechts oder links von dieser Linie gleicher Dicke auffällt, so entstehen zunächst wieder Wegdifferenzen von umgekehrtem Sinne, außerdem aber von verschiedener Größe, sodaß nach dem Durchlaufen beider Keile ein Gesamtgangunterschied übrig bleibt.

Nennt man die Dicke der durchlaufenen Schicht in dem unteren Keil $\triangle + {}^1/_2 d$ (Fig. 561), in dem oberen $\triangle - {}^1/_2 d$, so ist nach S. 141 der Gangunterschied in dem unteren Keil

$$s_\varepsilon - s_\omega = s_u = (\triangle + {}^1/_2 d)\,(\varepsilon - \omega)$$

und in dem oberen Keil

$$s_\varepsilon' - s_\omega' = s_o = (\triangle - {}^1/_2 d)\,(\varepsilon - \omega),$$

und der Gangunterschied nach dem Durchlaufen des ganzen Kompensators ist

$$s_u - s_o = S = d\,(\varepsilon - \omega).$$

Beiderseits der Linie gleicher Dicke erscheint zwischen gekreuzten Nicols, wenn die Keile um 45° gegen die Nicolhauptschnitte geneigt und mit einfarbigem Licht beleuchtet sind, die Platte hell bis zu Stellen links und rechts, wo der Gangunterschied nach dem Durchgang durch beide Keile 1, 2 usw. ganze Wellenlängen beträgt. An allen diesen Stellen liegen dunkle Linien, wie bei $s s_1$. Im weißen Licht erscheinen beiderseits der dunklen Linie, parallel zu der Schneide der Keile, die Newtonschen Farben in aufsteigender Ordnung.

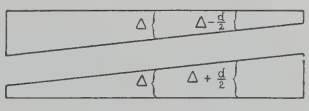


Fig. 561.

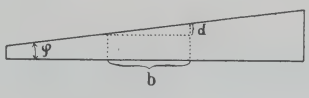


Fig. 562.

Der untere Keil $a\,b$ kann mittelst einer Mikrometerschraube um sehr genau meßbare Größen unter dem festen Keil $c\,d$ hinweggeschoben werden, und der dunkle Mittelbalken läßt sich dadurch in Koinzidenz mit einem auf dem oberen Keil eingravierten, durch ein Ramsdensches Okular zu betrachtenden Kreuz bringen. Wenn man nun bei gekreuzten Nicols den einen Keil des Kompensators mit der Mikrometerschraube in homogenem Licht soweit verschiebt, bis zwei aufeinander folgende dunkle Streifen mit dem eingravierten Kreuz zur Deckung gebracht worden sind, und wenn man diese Verschiebung mit b bezeichnet, so entspricht b einem Gangunterschied von 1λ des angewandten Lichtes. Wo aber erscheint diese experimentell so leicht faßbare Größe b in der Formel für die Beziehung zwischen Gangunterschied, Dicke und Doppelbrechung? Zum Verständnis möge man den Kompensator in Gedanken auseinander nehmen und eine Messung des Winkels des beweglichen oder des gleich großen Winkels des festen Quarzkeils annehmen.

Wenn nun

φ = Keilwinkel (= 1° 18′),

b = Verschiebung des Keils für einen Streifen, gemessen in Millimetern,

ist, so muß nach Fig. 562, die einer Übertragung der beiden Keilwirkungen auf einen Keil entspricht, sein

$$d = b \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

oder nach Einsetzung in die Formel auf S. 569

$$S = 1\lambda = b \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot (\varepsilon - \omega).$$

Man pflegt nun die Keilverschiebung b nicht in Millimetern, sondern in andern Maßen auszudrücken und zwar

in der Anzahl der Trommelteilstriche . . . . . $= \delta$,
in der Höhe eines Schraubenganges . . . . . $= h$,
in der Anzahl der Teilstriche auf einem Trommelumfang $= t$.

Nach dieser Ausdrucksweise ist

$$b = \delta \frac{h}{t}$$

und also

$$S = 1\lambda = \delta \frac{h}{t} \operatorname{tg} \varphi \cdot (\varepsilon - \omega),$$

oder das Verschiebungsmaß für einen Streifenabstand

$$\delta = \frac{t}{h \cdot \operatorname{tg} \varphi} \cdot \frac{\lambda}{\varepsilon - \omega}. \qquad (1)$$

Setzt man hier die Maße ein, wie sie für einen Babinetschen Kompensator der Firma Fueß gebräuchlich sind,

$$t = 100,$$
$$h = 0{,}500 \text{ mm},$$
$$\varphi = 1^{\circ}\,18',$$

und berechnet die Verschiebung für *Na*-Licht, wo

$$\lambda_{Na} = 0{,}0005893,$$
$$(\varepsilon - \omega)_{Na} = 0{,}009111,$$

so folgt

$$\delta_{Na} = 570{,}0 \text{ Trommelpartes}.$$

Dieser Weg der Bestimmung der Verschiebung der Streifen bei *Na*-Licht, also der Größe δ_{Na}, enthält nun alle Fehler des Instrumentes, also die Fehler der Schraube, die Fehler des Keilwinkels und die auch nicht ganz genau zutreffende extreme Doppelbrechung des Quarzes wegen der etwaigen fehlerhaften Orientierung der Quarzkeile. Es ist daher viel sicherer und auch einfacher, diesen Wert δ_{Na} ein für allemal bei Beleuchtung mit *Na*-Licht zu bestimmen, wobei man vorsichtigerweise die Verschiebung nicht nur um einen Streifen, sondern um soviel Streifen vornimmt, wie dieses der Mechanismus des Instrumentes zuläßt. Man kann bis zu sechs Streifen gehen und findet an dem obigen Instrument für einen Streifen das Verschiebungsmaß

$$\delta_{Na} = 571{,}6 \text{ Trommelpartes (anstatt } 570{,}0).$$

Hat man diese einem Phasenunterschied von 1 λ entsprechende Verschiebung von 571,6 Trommelpartes ausgeführt, und vermag ein doppelbrechendes Blättchen sie wieder genau rückgängig zu machen, so ist damit dessen Phasenunterschied erkannt. Ebensogut läßt sich ein Phasenunterschied von mehreren λ und auch von einem Bruchteil von λ erkennen. Die ein für allemal an einem bestimmten Kompensator festgestellte Größe δ führt uns also dahin, Phasenunterschiede in ganzen Wellenlängen und in Bruchteilen zu bestimmen. Ferner kann man nach den Definitionen auf S. 141 unten die Formel

$$s_{\gamma_1} - s_{\alpha_1} = d\,(\gamma_1 - \alpha_1)$$

auch schreiben

$$\frac{s_{\gamma_1} - s_{\alpha_1}}{\lambda} = d \cdot \frac{\gamma_1 - \alpha_1}{\lambda}$$

oder

$$\gamma_1 - \alpha_1 = \frac{s_{\gamma_1} - s_{\alpha_1}}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{d}.$$

Hiernach läßt sich also jede Doppelbrechung $\gamma_1 - \alpha_1$ eines Blättchens aus dem Phasenunterschied $\frac{s_{\gamma_1} - s_{\alpha_1}}{\lambda}$, der Wellenlänge λ des angewandten Lichtes und der Dicke d berechnen.

Im einzelnen findet man die Größe $\frac{s_{\gamma_1} - s_{\alpha_1}}{\lambda}$ auf folgende Weise: Man stellt den im weißen Licht erscheinenden dunklen Mittelstreifen in die Mitte des eingravierten Kreuzes und schiebt das Blättchen unter das Mikroskop so ein, daß seine Hauptschwingungsrichtungen mit denen im Kompensator parallel stehen und mit denen der gekreuzten Nicols 45° bilden. Es wird alsdann im weißen Licht, je nachdem die gleichmäßigen Vektoren im Blättchen und im unteren Keil des Kompensators parallel oder gekreuzt sind, der dunkle Streifen nach links oder rechts verschoben erscheinen, d. h. der Gangunterschied der Wellen ist größer oder kleiner geworden. Damit der dunkle Streifen wieder mit dem Faden sich deckt, wird man den unteren Keil des Kompensators nach rechts oder links verschieben, d. h. seinen unter dem Kreuz liegenden Teil verdünnen oder verdicken müssen. Die abgelesene Verschiebung sei $= l$; dann ist $\frac{s_{\gamma_1} - s_{\alpha_1}}{\lambda} = \frac{l}{\delta}$, und die obige Formel für die Doppelbrechung wird

$$\gamma_1 - \alpha_1 = \frac{l}{\delta} \frac{\lambda}{d},$$

worin z. B. für Natriumlicht $\lambda = 0{,}0005893$ zu setzen wäre.

Bei sehr dünnen Blättchen kann man, da hier die Genauigkeit überhaupt nicht sehr groß ist, in weißem Licht beobachten. Strebt man die

möglichste Annäherung an den wirklichen Wert an, so wird man, nachdem der verschobene Streifen im weißen Licht fast wieder eingestellt wurde, monochromatisches (Na-) Licht zur genauen Einstellung benutzen. Man muß mit weißem Licht beginnen, weil nur in diesem ein dunkler Streifen erscheint, während man bei homogenem Licht die verschiedenen dunklen Streifen verwechseln würde.

Mit der Auswertung des Babinetschen Kompensators für die Bestimmung der Doppelbrechung für verschiedene Lichtarten, also für die Bestimmung der Dispersion der Doppelbrechung haben sich einige Forscher beschäftigt. Ich nenne hier besonders

1902. C. Hlawatsch, Bestimmung der Doppelbrechung für verschiedene Farben an einigen Mineralien. T. M. P. M. **21.** 107—156.

1903. F. Becke, Bestimmung der Dispersion der Doppelbrechung. T. M. P. M. **22.** 378—380, auch Optische Untersuchungsmethoden. Denkschr. W. A. **75.** 1904. 62—63.

1905. V. de Souza-Brandão, Über eine Dispersionsformel der Doppelbrechung im Quarz und deren Verwendung beim Babinetschen Kompensator. Zentralbl. f. Min. usw. 23—29. Ref. Z. X. **44.** 1907. 193.

1908. St. Kreutz, Untersuchung der optischen Eigenschaften von Mineralien der Amphibolgruppe usw. S. W. A. **117.** 889—893.

Am einfachsten geht man auf die Formel (1) S. 570 zurück, schreibt sie aber vorsichtigerweise mit einer Bezeichnung für die Wellenlänge des angewandten Lichtes. Sie lautet dann für *Na*-Licht und für eine beliebige andere Lichtart x folgendermaßen:

$$\delta_{Na} = \frac{t}{h \,.\, \operatorname{tg} \varphi} \cdot \frac{\lambda_{Na}}{(\varepsilon - \omega)_{Na}}, \tag{2}$$

$$\delta_x = \frac{t}{h \,.\, \operatorname{tg} \varphi} \cdot \frac{\lambda_x}{(\varepsilon - \omega)_x}. \tag{3}$$

Ermittelt man aus (2) die Größe $\frac{t}{h \,.\, \operatorname{tg} \varphi}$, die man als Instrumentenkonstante und mit K_o bezeichnen kann,

$$K_o = \frac{t}{h \,.\, \operatorname{tg} \varphi},$$

unter Zugrundelegung der Werte

$$\delta_{Na} = 571{,}6,$$
$$\lambda_{Na} = 0{,}0005893 \text{ mm},$$
$$(\varepsilon - \omega)_{Na} = 0{,}009111,$$

so findet man

$$K_o = 8837{,}35.$$

Und setzt man alsdann diesen Wert in (3) ein, so kann man für jede Wellenlänge und zugehörige Doppelbrechung des Quarzes die betreffende Keilverschiebung, die einer Phasenverschiebung von 1λ entspricht, berechnen. Auch kann man aus Formel (2) und (3) die nachstehende Formel (4) bilden,

$$\delta_x = \delta_{Na} \frac{(\varepsilon - \omega)_{Na}}{(\varepsilon - \omega)_x} \cdot \frac{\lambda_x}{\lambda_{Na}} . \qquad (4)$$

Diese Formel habe ich in einer Arbeit des Herrn Lincio mitgeteilt [1]).

Die nachstehende Tabelle gibt die Werte von δ_x für eine größere Zahl von Lichtarten an. Diese Streifenbreiten δ_x sind für jedes Instrument aufs neue und auf Grund seines Wertes δ_{Na} zu berechnen.

Lichtart			Doppelbrechung des Quarzes	Streifenbreite in Trommelpartes
Fraunhofersche Linie	Element	Wellenlänge λ_x in $\mu\mu$	$\varepsilon - \omega$ [2])	δ_x
	K	768,5 ± 1,7	0,008936	760,0
A		761,1 ± 1,7	0,008942	752,2
a		718,8	0,008976	707,7
B		687,6	0,008998	675,3
	Li	670,8	0,009009	658,0
C	H_α	656,3	0,009019	643,1
D	Na	589,3 ± 0,3	0,009111	571,6
	Tl	535,1	0,009196	514,2
E		527,0	0,009211	505,6
F	H_β	486,1	0,009289	462,5
G′	H_γ	434,1	0,009432	406,7
h	H_δ	410,2	0,009536	380,1
H_1		396,9	0,009596	365,5

Bei der Bestimmung der Doppelbrechung nicht mit monochromatischen Flammen von bekannter Wellenlänge, sondern mit Lichtfiltern, deren Lichtschwerpunkte erst zu bestimmen sind, verfährt man folgendermaßen. Man mißt den Streifenabstand bei Beleuchtung durch das betreffende Lichtfilter und findet z. B. bei Cu O-Glas $\delta_{Cu} = 615$ Trommelpartes. Die obige Tabelle läßt dann durch Interpolation sofort finden, daß bei diesem Lichtfilter das wirksame Licht die Wellenlänge 630 $\mu\mu$ haben muß.

Bei sehr genauen Bestimmungen der Dispersion der Doppelbrechung wendet man eine Methode an, die wohl auf Fizeau und Foucault

[1]) S. H. A. 1914. 15. Abh., S. 9.

[2]) Interpoliert aus den Werten von J. W. Gifford, Proc. Roy. Soc. **70.** 1902. 336, nach den Angaben bei A. Ehringhaus, Beiträge zur Kenntnis der Dispersion der Doppelbrechung einiger Kristalle. N. J. B. B. **41.** 1916. 451.

zurückgeht, und die darauf beruht, bei sehr dicken Platten die Anzahl Streifen im Spektrum zwischen den Linien zu beobachten, zwischen denen der Unterschied der Doppelbrechung bestimmt werden soll. Hierzu gelangt man durch folgende Überlegung. Es sei

$$\frac{(\gamma - \alpha)_D}{\lambda_D} \cdot d = \frac{(s\gamma - s\alpha)_D}{\lambda_D} = p_1 = \text{Phasenunterschied für } D\text{-Licht}$$

und

$$\frac{(\gamma - \alpha)_F}{\lambda_F} \cdot d = \frac{(s\gamma - s\alpha)_F}{\lambda_F} = p_2 = \text{Phasenunterschied für } F\text{-Licht.}$$

Aus beiden Gleichungen erhält man

$$d \cdot \left(\frac{(\gamma - \alpha)_F}{\lambda_F} - \frac{(\gamma - \alpha)_D}{\lambda_D} \right) = p_2 - p_1 = \text{Anzahl Streifen im Spektrum zwischen den Linien } D \text{ und } F.$$

Kennt man nun die Doppelbrechung für die D-Linie und die Dicke d der Platte, so kann man aus der beobachteten Streifenzahl $p_2 - p_1$ die Doppelbrechung für die F-Linie finden.

K. v. Chrustschoff hat den Babinetschen Kompensator folgendermaßen abgeändert[1]): Er schneidet das Prismenpaar senkrecht zu den brechenden Kanten auseinander, dreht das eine Keilpaar in seiner Ebene um 180° und legt dann beide Keilpaare nebeneinander. Auf diese Weise erhält er zwei Kompensatoren mit um 180° verwendeten Orientierungen, sodaß ein doppelbrechendes Blättchen, das in dem einen Keilpaar den dunklen Mittelbalken nach rechts verschiebt, in dem andern eine Verschiebung nach links hervorruft. Liegen anfangs die gleich dicken Stellen der vier Keile in einer vertikalen Ebene nebeneinander, so leitet sich aus dem Abstand der dunkeln Streifen die Phasendifferenz ab. Dieser Abstand ist an einer auf der „Zwillingsgrenze“ liegenden Skala direkt ablesbar.

Man hat auch Kompensatoren mit homogenem Gesichtsfeld gebaut, bei denen eine bestimmte Farbe sich nicht, wie bei dem Babinetschen Kompensator auf einen Streifen beschränkt, sondern sich über das ganze Gesichtsfeld ausdehnt. Wenn auch diese Konstruktionen bis jetzt in der Kristalloptik noch keine Verwendung fanden, mögen doch einige davon kurz erwähnt werden.

Der Soleilsche Kompensator mit homogenem Gesichtsfeld besteht aus zwei Quarzkeilen in den Orientierungen, wie sie in Fig. 563 angegeben sind, wo die kräftig ausgezogene Linie und der dicke Punkt die jeweilige optische Achse andeutet. Zur Erläuterung ist dem oberen größeren Keil ein dem unteren entsprechender eingezeichnet, der wegen seiner Orientierung dessen Wirkung aufhebt. Es bleibt dann als die

[1]) Soweit ich dies aus dem Ref. in Z. X. **30.** 1899. 389, des in Verh. K. Russ. Min. Ges. **2.** 1896, Abhandlungen 165—169 stehenden Aufsatzes ersehen kann.

für die Interferenzfarbe in Betracht kommende Quarzplatte der durch Schraffierung hervorgehobene planparallele Teil übrig.

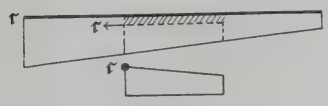


Fig. 563.

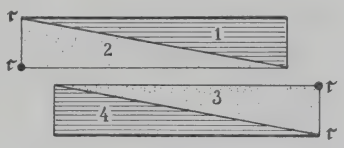


Fig. 564.

Ein anderer Kompensator mit homogenem Gesichtsfeld wurde von Bravais angegeben und besteht aus zwei Doppelkeilen in der durch Fig. 564 angegebenen Orientierung. Die starken Linien und dicken Punkte geben auch hier die Lagen der optischen Achsen an. Man sieht, daß die beiden Keile *1* und *4*, wie auch *2* und *3* gleichsam je eine planparallele Platte bilden. Diese „planparallelen Platten" erfahren aber durch Verschiebung des einen Keilpaares gegen das andere eine Verdickung oder Verdünnung und lassen als endgültige Wirkung den Überschuß der einen Platte $1 + 4$ gegen die andere $2 + 3$ erkennen.

Eine dritte Konstruktion wird wohl als die Babinet-Soleilsche bezeichnet und besteht aus einer planparallelen Quarzplatte *1* (in Fig. 565) und einem Doppelkeil $2 + 3$. Die Orientierung ist wieder wie bei Fig. 563 und 564 angegeben. Von den beiden Keilen *2* und *3* ist der untere beweglich und verdickt oder verdünnt dadurch die aus dem Keilpaar bestehende „planparallele Platte". Der Überschuß der Dicke der Platte über dieses Keilpaar ist ausschlaggebend für die betreffende Farbe, die sich auch wieder gleichmäßig über das ganze Gesichtsfeld ausdehnen muß.

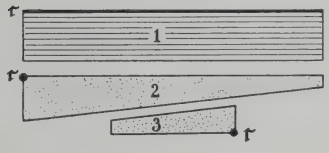


Fig. 565.

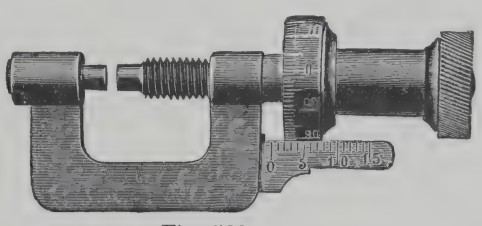


Fig. 566.
Dickenmesser.

Über eine Verbesserung des Babinet-Soleilschen Kompensators durch Verbindung mit einer Halbschattenwirkung hervorrufenden dünnen Glimmerplatte hat G. Szivessy in den Ber. der Phys. Ges. **21.** 1919. 271—283 Mitteilung gemacht.

Die Genauigkeit der Methode steht in umgekehrtem Verhältnis zur Höhe der Doppelbrechung; denn je kleiner diese ist, umso dicker dürfen die zu kompensierenden Blättchen sein, und umso geringer ist der pro-

zentuale Fehler in der Dickenbestimmung. Bei stark doppelbrechenden Mineralien ist also auf die Messung dieser Dicke besondere Sorgfalt zu verwenden.

Man kann diese Bestimmung mit der Feinstellschraube des Mikroskoptubus nach der in Paragraph 111, S. 438—441 angegebenen Methode ausführen, muß sich aber ihrer dort hervorgehobenen Schwierigkeit wohl bewußt sein. Bei losen Blättchen ist es sicherer, sich eines Dickenmessers zu bedienen, wie deren zahlreiche Modelle von den Mechanikern hergestellt werden. Eine einfache Ausführung, mit der man auf 0,01 mm genau direkt ablesen und auf 0,001 mm sicher schätzen kann, zeigt Fig. 566.

Nach dem Vorschlag von E. Mallard[1]) schleift man gleichzeitig mit dem zu untersuchenden Blättchen und auf demselben Glase mehrere Blättchen mit bekannter Doppelbrechung. Er empfiehlt Barytspaltungsblättchen nach der Basis. Ob die verschiedenen Barytblättchen gleiche Dicke haben, erkennt man daran, daß sie zwischen gekreuzten Nicols gleiche Interferenzfarbe zeigen. Ist dieses der Fall, so darf man annehmen, daß näherungsweise (s. u.) auch das zwischen ihnen liegende Blättchen des zu untersuchenden Minerals dieselbe Dicke habe, wie sie. Bestimmt man nun den Gangunterschied der Wellen in den Barytblättchen, so kann man, da der Unterschied der hier in Betracht kommenden Brechungsindizes β und γ bekannt ist, aus der Formel

$$\frac{l\,\lambda}{\delta\,\mathrm{d}} = \gamma - \beta = 0.0108$$

den Wert d bestimmen.

Diese Schleifmethode ist umso ungenauer, je weiter das zu untersuchende Mineral in der Härte vom Baryt abweicht, weil verschieden harte Mineralien sich nicht leicht gleich schleifen und polieren lassen.

Die beste Methode zur Bestimmung von d ist die direkte Messung an dem auf die hohe Kante gestellten Blättchen mit einem Objekt- oder mit einem Okularmikrometer. Am einfachsten gestaltet sich die Arbeit mit den feinen Mikrometerschrauben der Tische der großen Mikroskopmodelle, wie sie in den Figuren 352, 385, 392, 394, 395, 403, 404 abgebildet sind. Man befestigt das Blättchen an der Achse eines in Paragraph 117 und 118 beschriebenen Drehapparates und trägt Sorge, daß die Drehachse möglichst in die Fläche des Präparates fällt, damit dasselbe bei Ermittlung des Gangunterschieds nach Drehung um 90° möglichst horizontal liegt. Das Blättchen wird zunächst auf die hohe Kante parallel zur Sehrichtung gestellt. Das Eintreffen dieser Stellung erkennt man daran, daß die in verschiedenen Niveaus liegenden Staubteilchen immer an derselben Stelle im Gesichtsfeld erscheinen, ob man nun auf

[1]) Bull. Soc. Min. Fr. **6.** 1883. 131.

die einen oder die andern scharf einstellt. Ferner muß die Blattfläche senkrecht auf die Schraube gestellt sein, mit der die Dicke gemessen werden soll. Zu dem Ende werden die Schraubenachsen parallel und senkrecht zum Fadenkreuz gestellt, was man daran erkennt, daß ein auf einen Faden eingestellter Punkt bei der Verschiebung an diesem Faden entlang gleitet. Bei dieser Stellung des Tisches legt man den Querschnitt des Blättchens zu einem Faden parallel und kann nun mit der diesem Faden parallelen Schraube die Dicke messen. Die Benutzung eines Drehapparates hat den Vorteil, daß man bei Drehung in die Horizontalstellung dieselbe Stelle, an welcher d gemessen wurde, im Auge behalten und also auch zur Ermittlung des Gangunterschieds benutzen kann. Man ist also keineswegs gezwungen, die Dicke des Blättchens am Rande zu bestimmen, um von hier auf die Dicke in der Mitte zu schließen, wie Mallard annahm, der deswegen die Dickenmessung der auf die Kante gestellten Blättchen verwarf [1]), sondern man kann sehr gut die Staubteilchen beiderseits auch in den mittleren Teilen des Blättchens erkennen, wenn man dieses nur recht sorgfältig senkrecht stellt. Übrigens gelingt die Einstellung bei stark keilförmigen Blättchen sogar, wenn die dickere Seite nach oben gekehrt ist, weil man wegen der Apertur der Objektive noch gleichsam „um die Ecke“ sehen kann.

Wird der Gangunterschied der Strahlen in dem untersuchten Blättchen zu groß, um ihn noch durch Verschiebung des unteren Kompensatorkeils kompensieren zu können (was bei vielen Kompensatoren bis zur dritten oder vierten Ordnung möglich ist), so verkleinert man ihn durch Einschaltung von Glimmer- oder Gipsblättchen von bekanntem Gangunterschied in solcher Stellung, daß die ungleichwertigen Vektoren parallel liegen.

Zur Ermittlung der Maximaldoppelbrechung in einachsigen Kristallen müssen die Blättchen parallel zur Hauptachse, zur Ermittlung der Differenzen $\gamma - \alpha$, $\gamma - \beta$, $\beta - \alpha$ in zweiachsigen müssen sie senkrecht auf $\mathfrak{b}$, $\mathfrak{a}$ und $\mathfrak{c}$ geschliffen sein. Hat man die drei Differenzen bestimmt, so ergibt sich daraus näherungsweise der Winkel der optischen Achsen. Es ist nach Paragraph 36 S. 121

$$\text{genau} \quad \cos V = \frac{\alpha}{\beta}\sqrt{\frac{\gamma^2-\beta^2}{\gamma^2-\alpha^2}}$$

$$\text{und annähernd} \sin V = \sqrt{\frac{\beta-\alpha}{\gamma-\alpha}} \text{ oder } \cos V = \sqrt{\frac{\gamma-\beta}{\gamma-\alpha}} \text{ oder } \operatorname{tg} V = \sqrt{\frac{\beta-\alpha}{\gamma-\beta}}.$$

Gibt man nach J. Uhlig [2]) der mittleren Formel die Gestalt

$$\cos V = \sqrt{\frac{\gamma-\beta}{\gamma-\beta+\beta-\alpha}},$$

[1]) Bull. Soc. Min. Fr. **6.** 1883. 131.
[2]) Zentralbl. f. Min. usw. 1911. 305—312.

so erkennt man, daß für den Fall der Gleichheit der beiden Doppelbrechungen $\gamma - \beta$ und $\beta - \alpha$ die Formel übergeht in

$$\cos V = \sqrt{\frac{\gamma - \beta}{2(\gamma - \beta)}} = \frac{1}{\sqrt{2}},$$

daß also dann der Achsenwinkel $2V = 90^0$ wird.

Für $(\gamma - \beta) > (\beta - \alpha)$ wird $2V_c$ ein spitzer Winkel,
für $(\gamma - \beta) < (\beta - \alpha)$ wird $2V_c$ ein stumpfer Winkel.

Mit einer Diskussion dieser Näherungsformel und ihrer Anwendung auf die Achsenwinkel der Pyroxene und Amphibole hat sich A. C. Lane schon 1890 beschäftigt[1]). F. E. Wright gab eine einfache graphische Lösung[2]) der Formel

$$\sin V = \sqrt{\frac{\beta - \alpha}{\gamma - \alpha}}$$

an, indem er die Werte $\gamma - \alpha$ auf der Abszissenachse, die Werte $\beta - \alpha$ auf der Ordinatenachse auftrug und vom Kordinatenursprung aus das Feld mit Geraden durchsetzte, die dem Winkel V entsprachen.

144. Der Michel-Lévysche Comparateur. Michel-Lévy[3]) konstruierte zur Bestimmung der Doppelbrechung ein Instrument, bei dem die Interferenzfarben der Mineralblättchen mit den Interferenzfarben eines Quarzkeils verglichen werden. Man hat hier die im Prinzip schon in § 142 S. 567 erläuterte Methode, darf aber insofern eine höhere Genauigkeit erwarten, weil es sich um den Vergleich mit echten, nicht abgebildeten Farben handelt. Das als Comparateur bekannte Instrument ist in Fig. 567 in Totalansicht und in Fig. 568 seinem inneren Bau nach dargestellt.

O ist ein schwaches Okular, das an Stelle des Fadenkreuzes ein nach Art des Abbeschen Würfelchens (s. § 108 S. 413) wirkendes totalreflektierendes Doppelprisma PP' enthält. Es ist ein Prisma, das sein Licht durch einen kleinen, in allen Richtungen drehbaren Spiegel empfängt, der zur Beleuchtung eines polarisierenden Nicols N' dient. Die Klammern an diesem Prisma in Fig. 567 können unter Umständen farbige Gläser festhalten. An der mit einer Teilung versehenen und in der Achse des Ansatzrohrs durchbohrten Leiste A ist mittelst des Triebs L ein dünner Quarzkeil verschiebbar. Die Leiste A ist um die Achse des Ansatzrohrs drehbar. Das durch den Quarzkeil und die Durchbohrung der Leiste hindurch gegangene Strahlenbündel durchläuft das analysierende Nicol N und die Linse B und gelangt durch Totalreflexion in P zum Auge.

[1]) A. C. Lane, On the estimation of the optical angle by observations in parallel light. Am. Journ. **39.** 1890. 53–58.

[2]) „Methods". S. 191 und Taf. 9.

[3]) Bull. Soc. Min. Fr. **6.** 1883. 143—161; auch M. Lévy et Lacroix, Minéraux des Roches, 1888, 54—59. Die mechanischen Teile des Instrumentes sind von R. Fueß (N. J. B. B. **7.** 1889. 77) verbessert worden; s. auch Leiß, Die opt. Instr. 1899. 224—226.

Sind nun die Nicols im Ansatzrohr und im Mikroskop gekreuzt und liegt auf dem Mikroskoptisch ein doppelbrechendes Blättchen, so wird das beobachtende Auge die Mitte des Gesichtsfeldes durch P' in der Farbe des Blättchens, die Peripherie dagegen in der Farbe des Quarzkeils sehen. Stehen die Hauptschnitte von Quarzkeil und Blättchen in gleicher Neigung zu den Nicols (45°), und verschiebt man in geeigneter Weise vermittelst L den Quarzkeil, so wird für eine bestimmte Stellung dieses Quarzkeils der Unterschied in der Beleuchtung der Mitte und Peripherie des Gesichtsfeldes für das beobachtende Auge verschwunden sein. Bei dieser Stellung ist der Phasenunterschied der das Blättchen durchlaufenden Strahlen genau derselbe, wie derjenige der durch den Quarzkeil gegangenen Strahlen. Man kann also die Größe $(s_\gamma - s_a)/d$ wie im Babinetschen Kompensator durch die Stellung des Quarzkeils messen, wenn dieser ausgewertet ist.

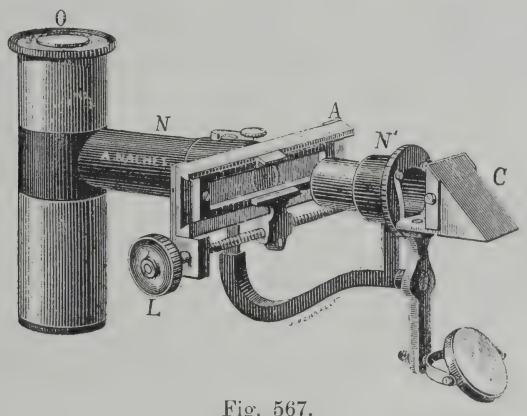


Fig. 567.

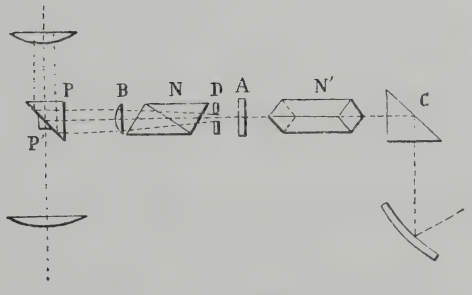


Fig. 568.
Michel-Lévyscher Comparateur von A. Nachet.

Zur Auswertung verschiebt man den unter 45° gegen die Nicolhauptschnitte gedrehten Quarzkeil längs der Leiste A vom dünnen Ende nach dem dicken und liest an der Skala der Leiste die Stellungen t und t′ ab, bei denen das erste und zweite Violett erscheint. Dann entspricht t nach der Tabelle auf S. 131 einem Gangunterschied in Luft von 575,

t′ einem solchen von 1128 Millionstel Millimetern, und eine Skaleneinheit der Teilung an der Leiste A entspricht einem Gangunterschied in Millionstel Millimetern, der mit c bezeichnet sei und folgenden Wert erreicht

$$c = \frac{1128-575}{t'-t}.$$

Für den Punkt, wo die Dicke des Quarzkeils = 0 wäre, also für den idealen Anfangspunkt des Keils, hat man

$$T = t - \frac{575}{c},$$

und für einen beliebigen Teilstrich der Skala t″ ist der Gangunterschied dann

$$(t'' - T)\, c.$$

Aus diesem und der Dicke des Blättchens ergibt sich der Wert $\gamma_1 - \alpha_1$ in derselben Weise wie beim Kompensator.

Die Auswertung des Quarzkeils wird genauer in Natriumlicht vorgenommen. — Die Stellung des Quarzkeils unter 45° gegen die Nicols, die durch eine Marke erleichtert ist, erreicht man mit Hilfe eines Quarzes etwa mit Gelb II. Ordnung. Man bringt diesen Quarz auf den Tisch des Mikroskops unter 45° seines Hauptschnittes gegen den Polarisator und stellt auf diesen Quarz den Quarzkeil ein, was sehr genau möglich ist, läßt nun den Quarzkeil in der gefundenen Stellung und bringt erst jetzt das zu bestimmende Blättchen unter das Mikroskop. Die Einstellung auf Farbengleichheit der Mitte und Peripherie des Gesichtsfeldes ist bei den unteren Farben der I. Ordnung nicht sehr genau. Zeigt das Präparat diese, so verdickt man es durch Auflegen von Quarzblättchen mit bekanntem Phasenunterschied oder verdoppelt die Dicke des Blättchens dadurch, daß man nach F. Wallerand[1]) die mittelst eines Gaußschen Glases oder eines Vertikal-Illuminators (§ 104 S. 378) von oben nach unten durch den Kristall sich fortpflanzenden Wellen an einem kleinen Spiegel unter dem Präparat wieder nach oben wirft, sodaß sie das Blättchen zum zweitenmal passieren müssen. Der Tubusnicol dient zuerst als Polarisator, dann als Analysator; man beobachtet also bei parallelen Nicols.

145. Verschiedene Methoden zur Messung der Doppelbrechung. Während Michel-Lévy die Gangunterschiede durch Vergleich zweier Farben bestimmt, so geschieht dies in dem Birefraktometer von J. Amann[2]) durch Ausgleich. Er bewegt über dem in gehöriger Orientierung befindlichen Mineralblättchen einen Quarzkeil, bis der im Mineral entstandene Gangunterschied durch den Keil kompensiert ist, und also die Keilstelle über dem Blättchen dunkel erscheint. Dieses Verfahren hat in dem Quarz-

[1]) Bull. Soc. Min. Fr. **20.** 1897. 172—173. J. Joly hat das gleiche Verfahren später vorgeschlagen. Proc. Roy. Soc. Dublin. **9.** 1901. 485—494.

[2]) Zeitschr. f. wiss. Mikr. **11.** 1894. 440—454; s. a. Leiß, N. J. B. B. **10.** 1895. 426—428 und Die opt. Instr. usw. 1899. 226—228.

keil nach H. Siedentopf[1]) von der Firma Zeiß eine sehr genaue und bequeme Form erhalten, wie dies in Fig. 569 und 570 zu sehen ist. Der Keil liegt in der Bildebene des Okulars und wird zwischen gekreuzten Nicols so lange verschoben, bis die zur Kompensation erforderliche Stelle über dem betreffenden Mineralblättchen liegt. Es werden 2 Keile von Ordnung 0—II und II—VIII angewandt. Jeder Keil trägt auf seiner Oberseite eine Teilung, die den Gangunterschied in μ (0,001 mm) angibt. Man hat also hier in natura genau die Verhältnisse, wie sie auf Tafel I in Farbendruck zu sehen sind[2]).

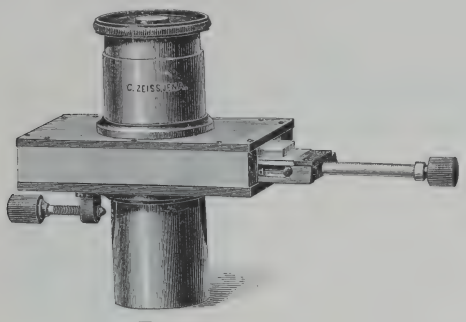


Fig. 569.
Mikroskopokular mit Quarzkeilkompensator nach H. Siedentopf von C. Zeiß.

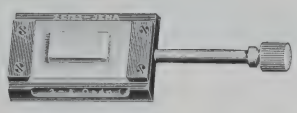


Fig. 570.
Quarzkeilkompensator 2.—8. Ordnung nach H. Siedentopf von C. Zeiß.

G. Cesáro[3]) kompensiert nicht vollständig, sondern nur bis auf ein empfindliches Violett, wobei er das zwischen parallelen Nicols erscheinende Violett der I. Ordnung mit einem Gangunterschied von 281 Millionstel Millimetern für das empfindlichste hält.

Eine sehr einfache Vorrichtung hat E. von Fedorow[4]) angegeben, indem er die Kompensation durch einen Glimmerkeil erreicht, bei dem sechzehn $^1/_4$-Und.-Glimmerblättchen treppenförmig im Abstand von 2 mm übereinander geschichtet sind, und also die Kompensation ruckweise von $^1/_4\lambda$ zu $^1/_4\lambda$ erfolgt. Aus der Zahl der zur Kompensation erforderlichen Lagen berechnet sich leicht der Phasenunterschied. G. Friedel hat ein Verfahren angegeben, bei dem man unter das Mineral ein $^1/_4$-λ-Glimmerblatt schiebt und die Kompensation durch Drehung des Polarisators herbeiführt[5]). W. W. Nikitin mißt die Gangunterschiede eines Blättchens bei

[1]) Zentralbl. f. Min. usw. 1906. 745—746.

[2]) F. E. Wright hat ausgerechnet, daß der Winkel eines Quarzkeils, dessen eine Fläche parallel zur c-Achse geschliffen ist, 6° 16′ betragen muß, damit eine Zehntel-Millimeterskala die Gangunterschiede direkt in $^1/_{10}\mu$ angibt. Am. Journ. **29.** 1910. 415—417.

[3]) Bull. Acad. R. Belgique (3) **26.** 1893. 208. Ref. Z. X. **25.** 1896. 624. Über ein anderes Verfahren dieses Autors zur Bestimmung der Doppelbrechung im konvergenten Licht s. Bull. Acad. R. Belgique 1907. 671—684. Über den Einfluß schiefer Schnittlagen auf das Maß der Doppelbrechung s. F. E. Wright, Am. Journ. **29.** 1910. 418—423.

[4]) Z. X. **25.** 1896. 349—351; **26.** 1896. 251—253; **29.** 1898. 611—613.

[5]) Bull. Soc. Min. Fr. **16.** 1893. 19—33. s. auch A. Köhler, Untersuchungen über das Verhalten einiger Kompensatoren usw. Z. f. wiss. Mikrosk. **38.** 1921. 209—236.

verschiedenen Neigungen gegen die Mikroskopachse, bestimmt diese Neigungen mit Hilfe des Fedorowschen Tisches und berechnet daraus extreme Werte der Doppelbrechung [1]). Bei dicken und stark doppelbrechenden Präparaten kann man sich eines entsprechenden Quarzkeiles bedienen, wie ihn J. W. Evans bis zur 28. Ordnung gehend vorgeschlagen hat [2]). Zur Messung sehr geringer Gangunterschiede kombiniert J. Königsberger seinen S. 479 erwähnten Glimmerzwilling mit einem Babinet-Soleilschen Kompensators (s. S. 575) mit homogenem Gesichtsfeld und mißt mit einer solchen Vorrichtung noch Gangunterschiede von $^1/_{10000}\,\lambda$ [3]). W. W. Nikitin verwendet als Kompensator eine Quarzplatte,

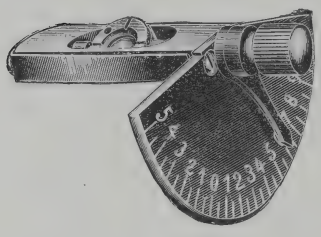


Fig. 571.

Drehbarer Quarzkompensator nach W.W. Nikitin von R. Fueß.

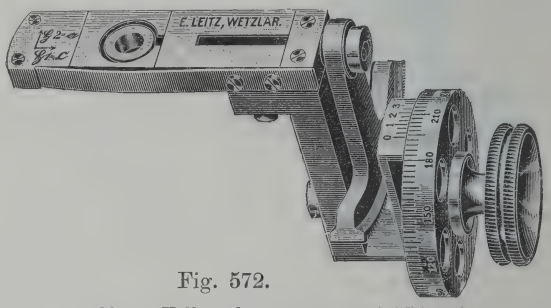


Fig. 572.

Drehbarer Kalkspatkompensator nach M. Berek von E. Leitz.

die etwa 25° schief zur optischen Achse geschliffen ist und in ihrer Neigung gegen die Mikroskopachse gedreht werden kann. Bei einer gewissen Stellung wird diese Platte in der Richtung der optischen Achse durchstrahlt und gibt den Gangunterschied 0. Bei andern Stellungen kann man aus der Dicke der Platte, die etwa 70 μ beträgt, und ihrer Neigung den Gangunterschied berechnen und daraus wieder den Gangunterschied des betreffenden kompensierten Minerals ableiten. Der kleine Apparat, der in Fig. 571 abgebildet ist, wird in den unteren Tubusschlitz über dem Objektiv eingeführt [4]). Er erlaubt Kompensationen von 0—550 $\mu\mu$ durchzuführen und erstreckt sich also etwa über die I. Ordnung. Um diesen Bereich zu erweitern, ohne auf dickere Quarzplatten, bei denen die Zirkularpolarisation stören würde, überzugehen, wählte M. Berek [5]) zu seinem drehbaren Kalkspatkompensator eine Kalkspatplatte, geschliffen parallel zur Basis. Stellt man diese Platte 0,1 mm dick her, so kann man bei einer Neigung bis zu 30° eine Kompensation bis in die IV. Ordnung durchführen. Der feine Drehmechanismus ist aus Fig. 572 zu ersehen.

[1]) Z. X. **33.** 1900. 133—146.

[2]) Min. Magaz. **14.** 1904/07. 87—92.

[3]) Zentralbl. f. Min. usw. 1908. 729—730.

[4]) Z. X. **47.** 1910. 378—379; **54.** 1915. 172—173; W. W. Nikitin, La méthode universelle de Fédoroff. Franz. Übersetzung von L. Duparc und V. de Dervies. Genf. 1914. 333—346.

[5]) Zentralbl. f. Min. usw. 1913. 388—396; 427—435; 464—470; 580—582.

Siebter Abschnitt.

Bestimmung des optischen Charakters im parallelen Licht.

146. Allgemeines. Eine bei mikroskopischen Mineralbestimmungen häufig wiederkehrende Aufgabe ist die Ermittlung des optischen Charakters. Sie läuft bei der Beobachtung im parallelen Licht darauf hinaus, unter den beiden, in jedem doppelbrechenden Blättchen auftretenden Vektoren, den größeren von dem kleineren qualitativ zu unterscheiden. Vor der Ausführung überzeugt man sich von dem richtigen Funktionieren des Mikroskops, in diesem Fall vor allem von der Isotropie der Linsen und zwar sowohl der Objektive wie auch der Linsen des Kondensors (s. auch § 101 S. 350). Sollten diese Linsen nicht spannungslos gefaßt sein und daher eine Aufhellung des Gesichtsfeldes bewirken, so stellt man sie mit ihren Hauptvektoren parallel zu den Nicolhauptschnitten, d. h. man dreht sie mit ihren Fassungen so lange, bis das Gesichtsfeld bei gekreuzten Nicols vollkommen dunkel ist. — Die Methode der Bestimmung des optischen Charakters beruht auf den Überlegungen des Paragraphen 49 und besteht also in der Kombination des durch ein Mineral von unbekannter optischer Orientierung erzeugten Gangunterschieds mit dem Gangunterschied eines Hilfspräparats von bekannter optischer Orientierung.

Vorausgehen muß die Bestimmung der Lage der Vektoren in dem zu untersuchenden Kristallblättchen, was man einfach durch seine Drehung zwischen gekreuzten Nicols bis zur Dunkelstellung erreicht, ohne hierbei die in Paragraph 125 angegebene Genauigkeit anzustreben. In dieser Dunkelstellung liegen die Vektoren wie die Nicolhauptschnitte, also Nord-Süd *(NS)* und Ost-West *(OW)*. Diese Bezeichnung nach Himmelsrichtungen, wie sie bei geographischen Karten gilt, ist für die Orientierung am unzweideutigsten; sonst hat man dem vorne und hinten öfters eine schwankende Bedeutung gegeben; man lege sich nur einmal die Frage vor, was etwa bei einer Druckseite und was bei einer Tischfläche vorne sein soll. Es soll also *N* von dem Beobachter abgekehrt, *S* ihm zugewendet, *O* nach rechts und *W* nach links liegen (s. auch S. 178 Fußnote 1 und S. 390). In welcher von den beiden Richtungen *NS* und *OW* nun aber der größere Vektor liegt, ist Aufgabe der vorliegenden Untersuchung. — Man gibt zunächst dem Kristallblättchen durch Drehung des Mikroskoptisches eine solche Stellung, daß seine Schwingungsrichtungen um 45° gegen die Hauptschnitte der gekreuzten Nicols geneigt sind, daß also jetzt die beiden in Frage kommenden Vektoren $NO - SW$ und $NW - SO$ liegen, und das Blättchen die dem Gangunterschied $s_{\gamma_1} - s_{\alpha_1} = d(\gamma_1 - \alpha_1)$ (s. S. 141) entsprechende Interferenzfarbe im Maximum der Intensität (s. § 47 S. 152) zeigt. Alsdann verwendet man ein aus geeignetem doppelbrechendem Material hergestelltes dünnes Blättchen, das in seiner optischen Orientierung, also in der Lage seiner Vektoren a und c,

von vornherein bekannt ist. Bei dünnen Kristallblättchen mit schwacher Doppelbrechung, bei denen das tiefe Grau der I. Ordnung auftritt, wählt man als optisches Reagens ein Präparat mit einem empfindlichen Rot der I. Ordnung. Bei dicken Blättern oder solchen mit stärkerer Doppelbrechung zieht man umgekehrt ein optisches Präparat mit einer sehr niedrigen Interferenzfarbe (einem sehr tiefen Grau der I. Ordnung) vor. Hiernach sind die verschiedenen, demselben Zweck dienenden Gips- und Glimmer- und Quarzblättchen und keilförmigen Platten, die im nachstehenden beschrieben werden, geeignet zu verwenden.

J. L. C. Schroeder v. d. Kolk bestimmt an losen Körnern die Brechungsindizes mittelst der Einbettungsmethode (s. § 136) der nach bestimmten Auslöschungsrichtungen schwingenden Wellen und empfiehlt dieses Verfahren besonders bei sehr stark doppelbrechenden Kristallen. C. Viola benutzt in ähnlicher Weise die von ihm erweiterte Beckesche Methode (s. § 139 S. 564), um bei äußerst schwach doppelbrechenden Mikrolithen die Brechungs- oder Vektorenverhältnisse zu ermitteln.

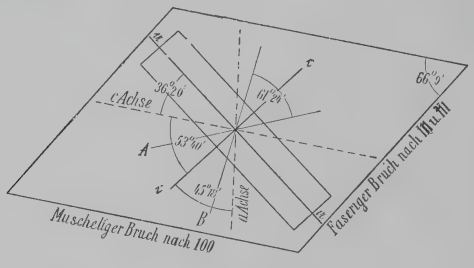


Fig. 573.

147. Gipsblatt vom Rot I. Ordnung [1]). Ein solches Gipsblatt schneidet man aus einem Gipsspaltungsstück in der durch Fig. 573 angegebenen Orientierung. Das längliche Rechteck stellt das Präparat in der im Mikroskop zur Anwendung kommenden Lage $NW—SO$ dar, und die Umrisse der Figur geben einige für den Gips charakteristische Richtungen wieder, wie muscheligen und faserigen Bruch, kristallographische und optische Achsen, Lage der Vektoren a und c.

Legt man nun ein solches Gipsblatt in der durch die Figur 573 angegebenen Richtung über das zu untersuchende Mineralblättchen, oder schiebt es in den dazu bestimmten Schlitz tt (Fig. 381a) des Tubus, so sind seine optischen Hauptschnitte mit denen des Minerals unter 45° gegen die Nicolhauptschnitte geneigt und zeigen also ebenfalls die größte Beleuchtungsintensität. Der Gangunterschied der Strahlen wird durch

[1]) Die Anwendung geht auf D. Brewster zurück; s. sein Populäres vollständiges Handbuch der Optik. Deutsche Übersetzung von J. Hartmann. Quedlinburg und Leipzig. 1835. I. 185.

das Gipsblättchen vergrößert, wenn in diesem und dem Blättchen relativ gleichwertige Vektoren zusammenfallen, verkleinert, wenn relativ ungleichwertige Vektoren sich decken. Im ersten Falle wirkt das Gipspräparat wie eine Verdickung des Blättchens und die Interferenzfarbe muß demnach steigen, im zweiten Falle ruft das Gipspräparat eine optische Verdünnung des Blättchens hervor und die Inferenzfarbe muß fallen. Da im Gipsblatt nach der obigen Präparation der größte Vektor parallel der längeren Kante liegt, so erhält man durch die Beobachtung direkt den gewünschten Aufschluß. Es empfiehlt sich, nach dem ersten Versuch das Mineral mit dem Mikroskoptisch um 90° zu drehen und den Versuch zu wiederholen; man muß nun ein Fallen der Interferenzfarbe wahrnehmen, wenn diese bei dem ersten Versuch stieg, und umgekehrt. — Man pflegt jetzt fast allgemein den großen Vektor $\mathfrak{a}$ der Gipsblätter *NW — SO* einzuschieben und diese Stellung als Regelstellung zu bezeichnen. Es wäre wünschenswert, wenn hier volle Übereinstimmung bei allen Kristalloptikern herrschte.

Bei den Hilfspräparaten mit einer empfindlichen Farbe bevorzugt man die Töne am Ende der I. und am Anfang der II. Ordnung, wobei man aber bis jetzt nicht sicher ist, welcher Farbe man als der allerempfindlichsten den Vorzug geben soll. In der vor zwei Jahren erschienenen ersten Lieferung dieses Buches (§ 41, S. 132) war in Anlehnung an bisherige Auffassungen einem Violett der II. Ordnung mit einem Gangunterschied von 575 $\mu\mu$ der Vorzug gegeben worden. Veranlaßt durch eine briefliche Anfrage des Herrn Dr. A. Köhler in Jena und durch eine Arbeit von A. Wenzel[1]) habe ich neue Versuche angestellt, die mir zeigten, daß ein in der Newtonschen Skala unterhalb des Violetts liegendes „Rot“ mit dem Gangunterschied von 532 $\mu\mu$ noch empfindlicher ist. Diese Interferenzfarbe, die man als „Rot“ oder, wenn man will, auch als Purpur bezeichnen kann, schlägt nämlich bei einer Addition oder Subtraktion von nur 8 $\mu\mu$ Gangunterschied schon in ein wahrnehmbares Violettrot bzw. Orangerot um. — Früher stellte man wohl solche Hilfsplatten aus hellem Glimmer einfach durch Spaltung her. Da sie aber doch eigentlich eine ganz bestimmte Dicke haben müssen, zieht man jetzt, auch der Farblosigkeit wegen, den eingangs dieses Paragraphen erwähnten Gips vor und spricht von einem Gips vom Rot I. Ordnung. Übrigens kann man diese Hilfspräparate auch aus Quarz anfertigen, was früher häufiger geschah, weil die Doppelbrechungs- und Dispersionsverhältnisse des Quarzes denen des Gipses außerordentlich ähnlich sind.

Bei etwas größerem, aber immer noch nach kleinen Bruchteilen von 1λ verlaufendem Gangunterschied der untersuchten Blättchen erscheint bei

[1]) A. Wenzel, Über die zur Erkennung schwacher Doppelbrechung dienenden empfindlichen Farben. Phys. Zeitschr. **18.** 1917. 472—479. Ref. N. J. 1919. 18—19; s. ferner E. A. Wülfing, Über die empfindlichen Farben und über ihre Anwendung bei der Erkennung schwach doppelbrechender Medien. S. H. A. 1910. 24. Abh. 16 S.

der Einschaltung solcher Präparate in der oben angegebenen Weise das untersuchte Mineral deutlich blau oder deutlich gelb, je nachdem der größere Vektor des Minerals mit dem größten Vektor des Gipses zusammenfällt oder diese Vektoren sich kreuzen. Den Nachetschen Mikroskopen wurde früher gewöhnlich eine Quarzplatte beigegeben, welche die sog. teinte de passage (Violett) zeigt. Diese Quarzplatte sollte aber, um einheitliche Gedächtnisregeln aufstellen zu können, in der gleichen Orientierung in das Mikroskop eingeschoben werden, wie sie das in Fig. 573 gezeichnete Gipsblatt zeigt. Es sollte also auch bei einer solchen Quarzplatte der größere Vektor $NW—SO$, und die Hauptachse des Quarzes demnach $SW—NO$ liegen.

Ausgezeichnet ist bei sehr niedrigen Interferenzfarben der schon in Paragraph 123 S. 479 beschriebene Bravais-Stöbersche „Quarzzwilling", bei dem man nur für die Bestimmung des Charakters die optische Orientierung der beiden Hälften kennen muß. Liegt die Trennungslinie der beiden Hälften in der Richtung NS, so läuft in dem einen Teil die optische Achse $NO—SW$, in dem andern Teil $NW—SO$, und man muß nun, wenn der Kristall beide Hälften teilweise bedeckt, die gestiegene und die gefallene Farbe gleichzeitig nebeneinander erblicken. Dieser kleine Hilfsapparat ist von einer solchen Empfindlichkeit, daß man, wie Bravais schon angibt[1]), die durch Druck mit den Fingern in einem Glaswürfel (von 16 mm Seite) hervorgerufene Doppelbrechung sehr deutlich wahrnimmt. Übrigens kann man mit einem guten Gipsblatt vom Rot I. Ordnung ebenfalls, wenn auch nicht mit der gleichen Deutlichkeit, diese schwache Doppelbrechung zeigen.

148. Biotscher Drehquarz und Wrightscher Kombinationskeil. Bei dickeren oder stark doppelbrechenden Kristallen (in letzterem Fall z. B. bei den mikroskopischen Zirkonen der Gesteine), die also zwischen gekreuzten Nicols eine deutliche Interferenzfarbe von der ersten oder auch von höherer Ordnung geben, ist es nicht vorteilhaft, mit dem rot-violetten Gips oder Quarz zu arbeiten, weil die Interferenzfarben immer um eine ganze Ordnung, sei es nach oben oder nach unten, verschoben werden, und man nicht jederzeit sicher und ohne längere Überlegung sagen kann, ob die Kombinationsfarbe einem Steigen oder Fallen entspricht. Man könnte hier Präparate mit sehr niedrigen Interferenzfarben — noch bedeutend niedrigeren als dem Graublau des $^1/_4$-Und.-Glimmers (s. § 167) — gebrauchen, um nur ein geringes Umschlagen der Kristall-Interferenzfarbe zu erhalten. Man geht aber viel sicherer, wenn man eine schon von Biot 1824[2]) angegebene Methode anwendet und an einer passenden Stelle des Tubus unter den Analysator eine senkrecht zur optischen Achse geschliffene dünne Platte eines einachsigen Minerals, das man zum Schutz zwischen zwei Deckgläschen kittet, einschiebt. Quarz, dessen Zirkular-

[1]) C. R. **32.** 1851. 114.

[2]) Précis élement. phys. expérim. **2.** 572.

polarisation wegen der Dünne der Platte nicht störend wirkt, eignet sich gut zu diesem Zweck. Dreht man einen solchen Quarz ein wenig um eine $NW—SO$ gerichtete horizontale Achse, so muß die Inferenzfarbe des Kristalls, die bei dem horizontalen Einschieben der Quarzplatte keine Veränderung erlitt, steigen oder fallen. Vor der Neigung sind die Vektoren in allen horizontalen Richtungen in der Quarzplatte die gleichen, nämlich a (Fig. 574a), wenn es gestattet ist, die Vektorenbezeichnung zweiachsiger Kristalle auf die einachsigen in passendem Sinn zu übertragen. Nach der Neigung ist in der den Quarz horizontal schneidenden Ebene der Vektor in der Richtung $NO—SW$ kleiner (c′) als in der Richtung $NW—SO$ (a) (Fig. 574b). Liegen die Vektoren im Kristallblättchen gleichsinnig, so wird ein Steigen seiner Farbe zu bemerken sein. Auch hier kann man zur Sicherheit die Drehoperation des Quarzes in einer um 90° verwendeten Richtung wiederholen, um dann den umgekehrten Farbenumschlag zu erhalten. Die Methode ist außerordentlich sicher, da man einen ganz allmählichen Übergang der Farben wahrnimmt.

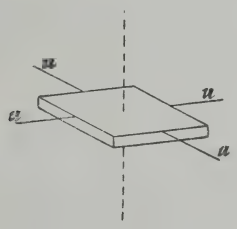


Fig. 574a.

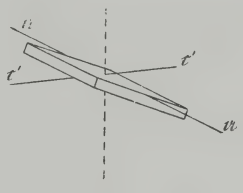


Fig. 574b.

Einen ähnlichen Erfolg erzielt F. E. Wright[1]) mit seinem Kombinationskeil, der aus Gips hergestellt und mit einem Gipsblatt vom Rot I. Ordn. unterlegt ist, wie dies Fig. 575 angibt. Wegen der kreuzweisen Übereinanderlagerung der Vektoren muß an jener Stelle, wo Keil und Blättchen gleiche Dicke haben, Dunkelheit entstehen, und müssen von dieser streifenförmigen Stelle an beiderseits die Newtonschen Farben sich zeigen, die nach dem dickeren Keilende um eine Ordnung niedriger liegen, als wenn der Keil ohne das Gipsblatt eingeschoben würde. Man hat also hier einen Keil mit unendlich feiner Schärfe und demnach mit dem ersten Anfang der Newtonschen Farbenskala, sodaß man diese nahe bei dem schwarzen Streifen liegende Stelle benutzen kann, einen ganz allmählichen Umschlag der Interferenzfarbe eines Mineralblättchens zu beobachten.

D. J. Mahony hat auch vorgeschlagen, dadurch in der Newtonschen Skala weiter hinunter zu steigen, daß er den Quarzkeil nicht

[1]) T.M.P.M. **20.** 1901. 275; s. a. Journ. of Geology **10.** 1902. 33–35 und Am. Journ. **29.** 1910. 417.

parallel, sondern schief zur optischen Achse schleift und also mit einer geringeren Doppelbrechung ($\varepsilon' - \omega$ anstatt $\varepsilon - \omega$) die Farben erzeugt[1]).

149. Gips- (und Quarz-)Keil. Bei hohen Interferenzfarben verwendet man mit Vorteil einen jetzt meistens aus Gips hergestellten Keil, den wohl (aus Quarz) de Sénarmont 1851 zuerst vorgeschlagen hat[2]). Dieser Keil (Fig. 576) pflegt jetzt meistens so geschliffen zu werden, daß seine brechende Kante dem kleinsten Vektor parallel läuft, und demnach seine lange Erstreckung parallel zum größten Vektor $\mathfrak{a}$ liegt. Es ist auch hier, wie bei dem Gips vom Rot I. Ordnung, wünschenswert, diese, wie es scheint verbreitetste, Orientierung allgemein einzuführen. Der Keil pflegt auf eine Glasplatte aufgekittet und mit einem Deckglas bedeckt zu werden, um ihn haltbarer zu machen. Schiebt man ihn auf dem Objekttisch von *SO* nach *NW*, also wieder unter 45° gegen die Nicolhauptschnitte mit der Schneide voran vorwärts, so beobachtet man

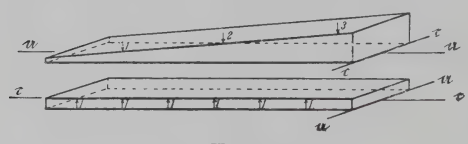


Fig. 575.

Fig. 576.

streifenartig nebeneinander die ganze Reihe der Newtonschen Farben vom Eisengrau der I. Ordnung bis etwa, je nach der Länge des Keils, zu den Farben der III. und IV. Ordnung in ausgezeichneter Intensität. Diese Farben sind innerhalb der ersten vier bis fünf Ordnungen fast identisch bei einem Quarz- und einem Gipskeil, und sie weichen auch nur ganz unbedeutend von den reinen an Luftschichten oder an Seifenblasenlamellen beobachteten Newtonschen Farben ab. Die zarten rosa Farben der III.—V. Ordnung im Newtonschen Farbenglas und an Seifenblasen treten bei Gips und Quarz in mehr fleischroten oder lachsfarbenen Tönen auf[3]). Je kleiner der Winkel des Keils ist, umso breiter werden die den einzelnen Farben der Newtonschen Skala zukommenden Felder, und je feiner die brechende Kante des Keils ausgeschliffen ist, umso tiefer steigen die Farben in die I. Ordnung hinab.

Legt man nun unter oder über den Keil das dem Charakter nach zu bestimmende Kristallblättchen so ins Gesichtsfeld, daß seine Hauptschwingungsrichtungen auch unter 45° gegen die Nicolhauptschnitte geneigt sind, so wird die Farbe des Keils an der Stelle, wo das Blättchen liegt, geändert, und zwar erscheint eine im Keil allein erst an dickerer

[1]) Nature **74.** 1906. 317, 318; Ref. N. J. 1908 I. 162.

[2]) Ann. Chim. Phys. (3) **33.** 1851. S. 7 des Sep.-Abdr.; s. a. Grailich, Kristallographisch-optische Unters. Wien u. Olmütz 1858. S. 205.

[3]) Einige Einzelheiten findet man bei E. A. Wülfing, Über die empfindlichen Farben usw. S.H.A. 1910. 24. Abh. 16 S.

Stelle auftretende Farbe dann, wenn der kleinste Vektor c′ im Blättchen parallel der brechenden Kante des Keils, also parallel cc in Fig. 576 liegt. Die Farbe entspricht dagegen einer an dünnerer Stelle des Keils vorhandenen, wenn der größte Vektor a′ im Blättchen der Keilkante parallel läuft. Auch hier tut man gut, den Versuch nach einer Drehung des Blättchens um 90° zu wiederholen. Die Erscheinung muß sich nun umkehren: die Farbe muß sinken, wenn sie vorher stieg, steigen, wenn sie vorher sank.

Gewöhnlich pflegt man den Keil nicht direkt über das Präparat zu legen, schon weil sich dies zu leicht verschieben würde, sondern benutzt, wie bei dem Gips vom Rot I. Ordnung, bei Anwendung des Tubus-Analysators den Schlitz *tt* (Fig. 381 a) oder bei Verwendung des aufsetzbaren Analysators auch den in diesem unter 45° gegen seinen Hauptschnitt angebrachten Schlitz.

Die Farben, die man an einem Kristall im sogenannten parallelen Licht beobachtet, gehören solange zu einer bestimmten Richtung und damit zu einer bestimmten Doppelbrechung, als man die Apertur des Objektivs vernachlässigt. Bei schwach doppelbrechenden Mineralien spielt diese Apertur keine Rolle, bei stark doppelbrechenden Kristallen aber kann sie sich in der Unreinheit der Interferenzfarben störend bemerkbar machen, wie man dies an jedem Marmordünnschliff zu beobachten in der Lage ist. Es ändert sich eben die Doppelbrechung des Kalkspats für jedes einzelne Korn schon innerhalb kleiner Aperturbereiche. Man kann hier die Farben wesentlich reiner erhalten, wenn man nach G. W. Grabham[1]) in den Tubusschlitz *tt* ein Diaphragma einschiebt und auf diese einfache Weise die Apertur des Objektivs verringert.

Der Gips- oder Quarzkeil dient auch dazu, die Ordnung zu bestimmen, der eine Interferenzfarbe in einem doppelbrechenden Blättchen angehört. Das Blättchen zeige ein Rot und sein Hauptschnitt sei um 45° gegen die Nicolhauptschnitte gedreht. Schiebt man nun den Keil mit dem dünnen Ende voran ein und fällt sein kleinster Vektor mit dem größten Vektor im Blättchen zusammen, so muß die Interferenzfarbe mehr und mehr sinken. Das Blättchen zeigt also in absteigender Folge die Newtonschen Farben, bis der Beschleunigung der einen Welle im Blättchen eine ebenso große Verzögerung derselben Welle im Keil entspricht. Die in diesem Augenblick eintretenden Verhältnisse sind die gleichen, wie wenn man das Blättchen mit einem andern seiner Art und von gleicher Dicke gekreuzt hätte; das Blättchen muß schwarz oder, wenn Unterschiede in der Farbendispersion zwischen Kristall und Keil vorhanden sind, wenigstens grau erscheinen. Ist bei dieser Operation die Anfangsfarbe des Blättchens (Rot) in ähnlicher Weise n-mal wiedergekehrt, so muß die Anfangsfarbe des Blättchens von der (n + 1)ten Ordnung sein.

[1]) S. oben § 42, S. 133.

150. Verwendung des Babinetschen Kompensators zur Bestimmung des optischen Charakters. Bei sehr tief gefärbten Mineralien versagen die meisten der oben besprochenen Methoden, weil durch die Absorptionswirkung des Minerals dessen Interferenzfarben zu stark verändert werden, und daher auch bei Anwendung der Hilfspräparate kein deutliches Steigen oder Fallen der Farbe zu erkennen ist. In solchen Fällen kann man die optische Orientierung eines Blättchens aus der Verschiebung des Mittelbalkens im Babinetschen Kompensator ableiten. Kennt man die Orientierung der Keile in einem Babinet und bedenkt man, daß eine optische Verdickung des einen Keils den Mittelbalken nach dessen dünnerem Ende verschiebt, so ist ein Schluß auf die Verteilung der Vektoren im Blättchen leicht gemacht. Die umständliche Auseinanderschraubung und Untersuchung der Keile wird überflüssig, wenn man an einem Präparat von bekannter Orientierung — etwa an dem obigen Gipsblatt vom Rot I. Ordn. — die Verschiebung des Mittelbalkens ein für allemal feststellt.

151. Optischer Charakter einer Zone und optischer Charakter eines Minerals. Hat man den relativen Wert der Vektoren in einem Blättchen bestimmt, so ist damit zunächst nur der optische Charakter der Zone, also der Richtung ermittelt, nach der die Flächen des Minerals am stärksten entwickelt sind. So sieht man an Apatitnadeln eine negative (c-Achse = $\mathfrak{a}$), bei Quarznadeln eine positive Zone (c-Achse = $\mathfrak{c}$). Bei zweiachsigen Mineralien kann dazu noch die Zone mit dem optischen Charakter $\pm$ treten, was dann der Fall ist, wenn der mittlere Vektor $\mathfrak{b}$ mit der Zonenachse zusammenfällt. Gute Versuchsobjekte zur Unterscheidung der Zonenachsen + oder — oder $\pm$ geben die Mineralien Pektolith, Rosenbuschit und Wollastonit. Alle drei zeigen eine deutlich zonare Entwicklung nach der b-Achse. Diese Achse aber fällt bei Pektolith mit $\mathfrak{c}$, bei Rosenbuschit mit $\mathfrak{a}$ und bei Wollastonit mit $\mathfrak{b}$ zusammen. Bei der Lage der Fasern solcher Mineralien in der Richtung NW—SO unter dem Mikroskop und bei eingeschobenem Gipsblatt vom Rot I. Ordnung in der Regelstellung sieht man die ursprünglich grauen Interferenzfarben der drei Mineralien bei Pektolith in gelb, bei Rosenbuschit in blau und bei Wollastonit bei der einen Faser in gelb und bei einer andern parallelen Faser in blau umschlagen. Diese letztere Erscheinung des Farbenwechsels kommt dadurch zustande, daß die Fasern zwar alle ihren Vektor $\mathfrak{b}$ in der Richtung NW—SO haben, in der Richtung NO—SW dagegen bald $\mathfrak{a}$ bald $\mathfrak{c}$, je nach der kristallographischen Orientierung. Hat ein Mineral keine deutlich entwickelte Zone, so kann man bei ihm auch von keinem optischen Zonencharakter reden.

Von dem optischen Charakter einer Zone ist der optische Charakter des Minerals zu unterscheiden. Die Bezeichnung $\pm$ in diesem letzteren Fall wird gebraucht, wenn das Mineral keine spitze und keine stumpfe Bisektrix

hat, wenn nämlich der Achsenwinkel $2V = 90^0$ ist. — Zur Bestimmung des optischen Charakters des Minerals bedarf man gewisser Angaben über die Lage des Schliffs, wozu im allgemeinen die Beobachtungen im konvergenten Licht (s. § 166—169) führen. Auch die hierauf sich beziehende von Schroeder van der Kolk angegebene Untersuchung von Dünnschliffen im parallelen polarisierten Licht ist eigentlich eine versteckte Art von Beobachtung im konvergenten Licht[1]). Er untersucht die Doppelbrechungsverhältnisse in etwas verschiedenen Richtungen durch Neigung des Präparats oder durch Änderung der Beleuchtungsverhältnisse. F. v. Fedorow und W. W. Nikitin benutzen ihren Universaltisch zu den hier erforderlichen Drehungen[2]). H. Schneiderhöhn läßt den Schliff horizontal auf dem Tisch des Mikroskops liegen und nimmt die Abblendung der das Präparat in verschiedener Schiefe durchstrahlenden Lichtbündel in der Austrittspupille des Okulars mit dem Exnerschen Mikrorefraktometer (s. o. Fig. 553 oder 554) vor[3]). Es treten dabei Veränderungen der Interferenzfarben auf, die für die verschiedenen Schnittlagen einachsiger und zweiachsiger Kristalle charakteristisch sind.

Achter Abschnitt.

Untersuchung auf Farbe und Pleochroismus bei durchsichtigen Mineralien. Untersuchung undurchsichtiger Mineralien.

152. Die Bezeichnung der **Farbe der durchsichtigen Mineralien** gewinnt an Sicherheit, wenn man sich auf einen Vergleichskörper bezieht. Man kann hierzu nach dem Vorschlag von H. Fischer[4]) die „Internationalen Farbenskalen von O. Radde in Hamburg“ (Société sténochromique, Paris), die in großer und kleiner Ausgabe vor längerer Zeit erschienen ist, benutzen. Bei der Seltenheit dieses im Buchhandel längst vergriffenen Werkes wird man den Ersatz begrüßen, der in dem „Code des Couleurs“ von P. Klincksieck und Th. Valette geschaffen wurde[5]). Ferner hat W. Ostwald in seinen Farbenstudien mannigfaches Vergleichsmaterial geschaffen, das auch für den Mineralogen eine sehr

---

[1]) Zeitschr. f. wiss. Mikroskop. **8.** 1892. 456—458.

[2]) Z. X. **24.** 1895. 603—605; **33.** 1900. 133—146.

[3]) Z. X. **50.** 1912. 231—241.

[4]) N. J. 1879. 850.

[5]) Code des Couleurs à l'usage des Naturalistes, Artistes, Commerçants et Industriels. 720 Echantillons de Couleurs. Paris 1908. S. auch H. J. Müller, Internationale Farbenbestimmungen. Ber. d. D. Pharmaz. Ges. 1910. 358—368; Ref. N. J. 1911. II. 162.

weitgehende Benutzung gestattet[1]). Immer aber wird man bei diesen Vergleichen mit den Farben von Radde oder von Klincksieck und Valette oder von Ostwald gewissen Schwierigkeiten begegnen, weil man bei den durchsichtigen Mineralien im Mikroskop transparente Farben sieht und bei den Tafeln die Farben mehr oder weniger im auffallenden Licht beobachtet. Diese Schwierigkeiten werden verringert, wenn man die Vergleiche mit Farben vornimmt, die sich an verschieden dicken Quarz-

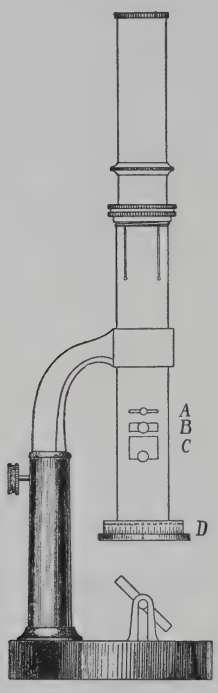


Fig. 577 a.

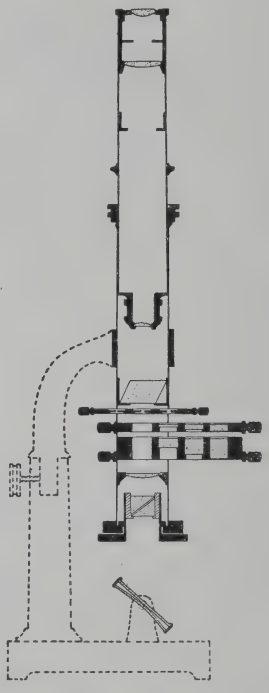


Fig. 577 b.

Kontrastchromator nach E. A. Wülfing von R. Winkel.

platten infolge der Zirkularpolarisation beobachten lassen. Ein hierauf fußender Apparat ist von L. Arons konstruiert und als Farbenweiser (Chromoskop) bezeichnet worden[2]). Eine andere Ausführung, die aber noch die Komplementärfarben zu beobachten gestattet, möge Kontrast-

[1]) Unter den zahlreichen Publikationen W. Ostwalds zur eindeutigen Bestimmung der Farben seien besonders 3 Werke erwähnt: Die Farbenfibel. Mit 8 Zeichnungen und 200 Farben. Leipzig. Verlag Unesma. — Der Farbenatlas. Zirka 2500 Farben mit Gebrauchsanweisung, wissenschaftlicher Beschreibung, 13 Merkblättern und ein Anhang. Ausgabe A in 13 Kästen und Ausgabe B auf 103 Tafeln. Leipzig. Verlag Unesma. — Einführung in die Farbenlehre. Leipzig 1919. Reclams Universalbibliothek, Nr. 6041—6044.

[2]) L. Arons, Ein Chromoskop. Annalen d Physik. (IV) **33.** 1910. 799—832. Das Arbeiten mit dem Farbenweiser (Chromoskop), ebenda. (IV) **39.** 1912. 545—568.

chromator genannt werden. Das Instrument ist 1914 nach des Verfassers Angaben von R. Winkel ausgeführt worden und wurde bisher noch nicht beschrieben. Ansicht und Durchschnitt zeigen die Figuren 577 a und 577 b.

Man beobachtet hier, wie bei dem Aronsschen Instrument, die Farben, die in basischen Quarzplatten im polarisierten Licht infolge der Zirkularpolarisation entstehen. Der Polarisator ist drehbar und der Analysator besteht aus einem Stück Kalkspat, das uns das Doppelbild eines im Schieber *A* liegenden Spaltes je nach dessen Breite getrennt oder aneinander- oder aufeinanderfallend darstellt, wie dies in Paragraph 41, S. 130, Fußnote 2 angedeutet ist. Durch die in zwei andern Schiebern *B* und *C* befindlichen sechs basischen Quarzplatten von 1, 2, 3, 4, 8 und 12 mm Dicke kann man bei passenden Kombinationen eine Wirkung wie bei 15 Quarzplatten von 1—15 mm Dicke erzielen. Der am Ring *D* drehbare Polarisator erzeugt dann infolge der Rotationsdispersion weitere Farbenarten, die bei dieser einfachen Vorrichtung in großer Mannigfaltigkeit und sehr glänzend auftreten.

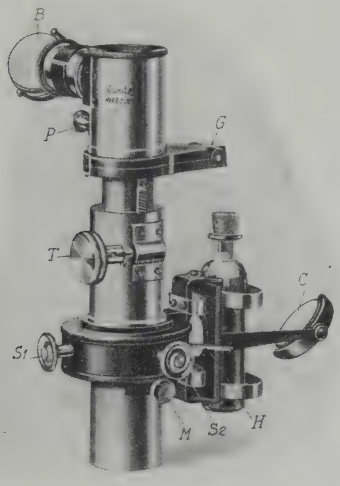


Fig. 578.
Abbesches Okularspektroskop von E. Leitz.

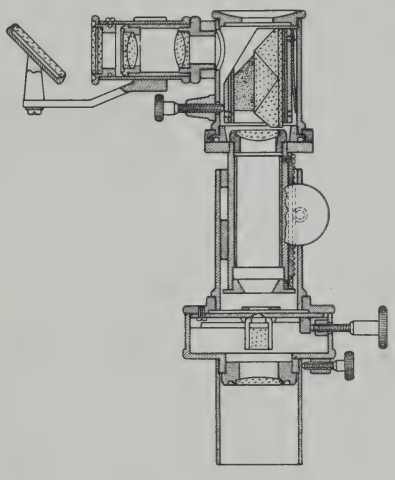


Fig. 579.
Querschnitt durch das Abbesche Okularspektroskop von E. Leitz.

Bei durchsichtigen Mineralien von mikroskopischen Dimensionen ist die Beobachtung der Absorptionsspektren mit Hilfe des Abbeschen Okularspektrokops anzustellen. Ein solcher, auch Mikrospektroskop genannter Apparat ist in der Leitzschen Ausführung in den Figuren 578 und 579 in Ansicht und Durchschnitt abgebildet. Er wird wie ein gewöhnliches Okular in den Tubus des Mikroskops eingesetzt und mit der Schraube M festgeklemmt. Sein oberer Teil mit dem Dispersionsprisma

läßt sich um das Gelenk G zur Seite klappen und legt dadurch die Augenlinse des Okulars frei. Man sieht dann den in dem erweiterten Trommelteil liegenden Spalt, auf den man durch die Zahn- und Triebbewegung T scharf einstellt. Erst jetzt wird das ganze Mikroskop auf das Objekt eingestellt. Breite und Höhe des Spaltes werden durch die an der Trommel angebrachten Schrauben S_1 und S_2 reguliert. Nach Einschaltung des Oberteils sieht man an Stelle des Spaltes das Spektrum, in welchem, bei Beleuchtung mit Tageslicht, die Fraunhoferschen Linien zur Orientierung dienen.

Zur Orientierung im Spektrum bei künstlicher Beleuchtung dient das seitliche Röhrchen mit Wellenlängenskala und Spiegel B. Die Scharfeinstellung dieser Skala und die Parallelstellung ihrer Teilung mit den Fraunhoferschen Linien wird durch Bewegung der gerändelten Verschlußplatte des Röhrchens bewirkt. Zur Justierung dient die Schraube P, die so bewegt wird, daß die D-Linie im Spektrum auf den Skalenteil 58,9 fällt. Die an der Skala abgelesenen Werte geben dann die Wellenlängen in Einheiten von $10\,\mu\mu$ an; Skalenteil $50 = 500\,\mu\mu$ Wellenlänge.

Die Spalttrommel trägt seitlich noch einen Hebel H, durch den ein totalreflektierendes Prisma ein- und ausgeschaltet werden kann, um die Absorptionslinien und Bänder an Flüssigkeiten und Gläsern zum Vergleich heranzuziehen. Die Flüssigkeiten werden in kleine Fläschchen gefüllt, wie dies Fig. 578 zeigt, und durch den Spiegel C beleuchtet.

Mit einem solchen Mikrospektroskop kann man z. B. an den sehr charakteristischen Absorptionsstreifen des Neodyms im Gelb und des Praseodyms im Blau den Monazit auch im Dünnschliff oder in kleinen isolierten Bruchstücken und an ähnlichen Streifen des Erbiums den Xenotim erkennen[1]).

153. Untersuchung auf Pleochroismus. Die Trennung der Flächenfarben pleochroitischer Kristalle in die beiden Achsenfarben zeigte Haidinger sehr elegant vermittelst des von ihm erfundenen und benannten Dichroskops, das auch als Haidingersche Lupe bekannt ist. Es besteht (Fig. 580) aus einem länglichen Calcitspaltungsstück, an das, um die Parallelverschiebung der Bilder zu vermeiden, zwei Flächen senkrecht zu den Längskanten angeschliffen sind, und das in eine beiderseits mit Metalldeckeln verschlossene Messinghülse gefaßt ist. Die Objektplatte hat eine kleine quadratische oder oblonge Öffnung, während die Okularplatte in einer größeren runden Öffnung eine auf das andere Ende einstellbare, schwach vergrößernde Linse trägt. Hält man das Dichroskop mit der Linse vor das Auge, so sieht man ein doppeltes Bild der

[1]) s. Allen B. Dick bei O. Derby, On the separation and study of the heavy accessories of rocks. Proc. Rochester Acad. **1.** 1891. 204; ferner H. Rösler, Beiträge zur Kenntnis einiger Kaolinlagerstätten, N. J. B. B. **15.** 1902. 269, der im Monazit einen Neodym- und Praseodymgehalt feststellte.

kleinen Objektöffnung; das eine entsteht durch die ordentliche, parallel der langen Diagonale der Endfläche des Calcitprismas schwingende Welle, das zweite durch die außerordentliche Welle, deren Schwingungen sich parallel der kurzen Diagonale des Prismas vollziehen. Die beiden fast gleich hellen Bilder (s. S. 80, Fußnote 1) liegen unmittelbar nebeneinander, und man erkennt das außerordentliche leicht an einerseits gelber, andererseits bläulicher Umsäumung. Um rasch bei der Untersuchung die Schwingungsrichtung eines der beiden Bilder zu erfahren, zieht man entweder das die Linse tragende Rohr heraus und orientiert sich am Querschnitt des Kalkspats oder man blickt durch die Lupe nach einer, wenn auch unvollkommen spiegelnden Fläche, wie nach dem Fußboden oder nach einer Tischplatte und erinnert sich, daß die von hier mehr oder

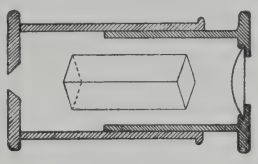


Fig. 580.
Haidingersche Lupe.

weniger linear polarisierte Welle horizontal schwingt, und daß das mit dieser Schwingung übereinstimmende Bild hell sein muß. Oder man merkt sich schließlich, daß an dem farbig gesäumten außerordentlichen Bild die Schwingungen senkrecht zu den Farbsäumen erfolgen. Auch empfiehlt schon Rosenbusch[1]), auf der Außenseite der Objektplatte zwei senkrechte Striche, einen längeren und einen kürzeren, parallel den entsprechenden Diagonalen des Calcits einzugravieren, wenn das Instrument eine quadratische Objektöffnung hat; ist diese oblong, so orientiert man die Seiten des Oblongs selbst nach diesen Richtungen. Ähnliche Vorschläge sind von A. Cathrein[2]), für das vervollständigte Dichroskop von G. Halle[3]) gemacht worden. Eine auf Liebischs Anregung erfolgte Vereinigung mit einem Spektroskop hat C. Leiß ausgeführt[4]).

Sieht man nun durch das Dichroskop senkrecht zur Basis eines optisch einachsigen, durchsichtigen Kristalls, so haben beide Bilder gleiche Farbe und gleiche Intensität, wie man auch das Dichroskop um seine Achse dreht, denn in der basischen Platte pflanzt sich Licht von nur einer Art in allen Azimuten schwingend fort, das keine Absorptionsunterschiede aufweist. Dieses Licht muß bei der Zerlegung durch die Haidingersche Lupe unverändert bleiben. Blickt man dagegen durch

[1]) Diese Physiographie 1. Aufl. 1873. 104.
[2]) Zeitschr. f. Instr. **16.** 1896. 225.
[3]) N. J. 1895. II. 247—248.
[4]) N. J. 1898. II. 68—69.

das Dichroskop normal auf eine Prismenfläche desselben Kristalls und zwar so, daß dessen Hauptachse parallel zur langen Diagonale des Calcits im Dichroskop gestellt ist, so zeigt das ordentliche Bild die sog. Achsenfarbe der außerordentlichen Welle, das außerordentliche die sog. Basisfarbe des beobachteten Kristalls. Der Grund ist der, daß die im Kristall parallel der Hauptachse schwingenden außerordentlichen Wellen das Dichroskop mit Schwingungen parallel der langen Diagonale des Calcits durchlaufen, also das ordentliche Bild geben, während die im Kristall senkrecht zu dessen Achse schwingenden ordentlichen Wellen nun im Dichroskop in der Richtung der kurzen Diagonale schwingen, also das außerordentliche Bild beleuchten. — Dreht man das Dichroskop um seine Achse, bis die kurze Diagonale parallel der Hauptachse im beobachteten Kristall steht, so muß aus analogen Gründen nun das ordentliche Bild die Basisfarbe, das außerordentliche die Achsenfarbe zeigen. Bei der Mittelstellung von 45° müssen beide Bilder gleich gefärbt sein, weil beide, den beobachteten Kristall durchlaufenden Wellen beim Eintritt in den Calcit die gleiche Zerlegung auf die optischen Hauptschnitte desselben (seine Schwingungsebenen) erleiden.

Bei mikroskopischen Studien kann man, wie schon Tschermak vorschlug [1]), die Farben auch nacheinander beobachten, indem man in das Mikroskop nur den Polarisator einschiebt und das Präparat einer Drehung unterwirft. Die Beobachtung bei alleiniger Einschaltung des Analysators ist nicht ganz einwandfrei, weil das vom Spiegel reflektierte Licht teilweise polarisiert ist, und man also gewissermaßen zwischen gekreuzten oder parallelen Nicols beobachten würde. Eine bequeme Verbindung des Dichroskops mit dem Mikroskop, die schon Rosenbusch anstrebte [2]), hat C. Leiß hergestellt [3]), indem er ein beiderseits gerade abgeschliffenes Kalkspatstück in ein passend abgeändertes Huyghenssches Okular einschaltete, in dessen sonstige Fadenkreuzebene die rechteckige Öffnung gelegt wird. Bei schwachem Pleochroismus kann dieses Okulardichroskop sehr nützlich werden, da man sonst das Präparat sehr schnell drehen muß, um einen Umschlag in der Farbe wahrzunehmen. Auch kann die kleine Vorrichtung zur Beobachtung der Komplementärfarbe, die oben in Paragraph 41, S. 130, Fußnote 2 erwähnt wurde, hier zweckmäßige Verwendung finden (s. auch bei Kontrastchromator S. 592). Wegen quantitativer Bestimmungen sei auf die Arbeit von P. Ites, Über die Abhängigkeit der Absorption des Lichtes von der Farbe in kristallisierten Körpern, Preisschrift, Göttingen 1903 und auf die dort vorhandene ausführliche Literatur verwiesen.

154. Untersuchung undurchsichtiger Mineralien. Die Sichtbarmachung der Farbe eines undurchsichtigen Minerals kann zunächst sehr

[1]) S. W. A. **60.** 1870. 5—16.
[2]) Diese Physiographie 1. Aufl. 1873. 105.
[3]) N. J. 1897. II. 92.

einfach durch Pulverisieren geschehen, wie dies von alters her mit dem diagnostischen Hilfsmittel des „Striches“ ausgeführt wird. Schroeder v. d. Kolk hat diese Methode weiter ausgearbeitet und dabei gefunden, daß die Unterschiede sonst ähnlicher Strichproben deutlicher hervortreten, wenn man das in der gewöhnlichen Weise auf einer Biskuitplatte hergestellte Strichpulver mit der Ecke einer andern Biskuitplatte noch weiter ausreibt, d. h. in der Korngröße noch weiter erheblich verkleinert. Durch diesen einfachen Kunstgriff gelingt es, von Körpern, die sozusagen undurchsichtig sind, noch eine charakteristische Strichfarbe zu erhalten; reines Gold zeigt z. B. nach dem Ausreiben einen violetten Strich.

Die Farben der Mineralien im reflektierten Licht sind nur da als charakteristische Kennzeichen von Bedeutung, wo sie eine Eigenfarbe sind, und wo sich durchsichtige Blättchen nicht herstellen lassen. Dies gilt besonders von den geschwefelten und oxydischen Erzen, von denen Pyrit und Magnetkies, Magnetit und Ilmenit zu den verbreitetsten opaken Gemengteilen der Gesteine gehören. Mit solchen Körpern hat es die neuerdings weit ausgebaute Methode der Untersuchung der undurchsichtigen Stoffe im reflektierten Licht zu tun. Sie wird nach einem Vorschlag von R. Brauns auch als Chalkographie (χαλκός = Erz) bezeichnet. Das Prinzipielle dieser Untersuchungsmethode ist schon alt, wie die zahlreichen Konstruktionen der Vertikalilluminatoren in Paragraph 104 erkennen lassen, und wie man auch aus den Darstellungen auf dem Gebiet der Meteoritenforschung, insbesondere aus dem Atlas von Březina und Cohen erfahren kann[1]). Am eingehendsten mit dieser Materie hat sich H. Schneiderhöhn beschäftigt, dessen Arbeiten auch die vollständigsten Literaturangaben enthalten[2]). Das Wesentliche wird man in diesem prächtig illustrierten Werk finden, sodaß es hier nur einiger ergänzender Bemerkungen bedarf.

Die Metallmikroskope, wie man die Instrumente für solche chalkographische Untersuchungen meistens nennt, werden von allen größeren Mikroskopfirmen in zum Teil sehr üppiger Ausstattung hergestellt. Aber schon eine Vorrichtung von der Einfachheit, wie sie oben in Fig. 377 auf S. 380 bei den Vertikalilluminatoren beschrieben und abgebildet wurde, kann sehr weitgehenden Anforderungen genügen. Eine andere Konstruktion, die für Petrographen insofern von Interesse ist, als sie auch an großen Handstücken die Untersuchung unmittelbar auszuführen gestattet, liegt in dem „Mikroskop für Werkstoffuntersuchungen“ vor,

[1]) Die Strukturen und Zusammensetzung der Meteoreisen. Stuttgart 1886—1906.

[2]) H. Schneiderhöhn, Die mikroskopische Untersuchung undurchsichtiger Mineralien und Erze im auffallenden Licht und ihre Bedeutuug für Mineralogie und Lagerstättenkunde. N. J. B. B. **43.** 1920. 400—438. Ferner Anleitung zur mikroskopischen Bestimmung und Untersuchung von Erzen und Aufbereitungsprodukten besonders im auffallenden Licht. Mit 154 Abbildungen und 292 S. Selbstverlag der Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute. Berlin 1922.

das die Firma Zeiß herstellt. Der Strahlengang in diesem Instrument ist in Fig. 581 und eine Gesamtansicht in Fig. 582 wiedergegeben.

Die Beleuchtung des für gewöhnlich horizontal liegenden Mikroskops kann entweder mit Tageslicht geschehen, wie das der Spiegel am rechten Ende der Figur 582 zeigt, oder sie kann elektrisch durch ein Schwachstromglühlämpchen von 4 Volt Spannung und 0,4 Amp. Stromverbrauch erfolgen, wie dies in Fig. 581 zu sehen ist. Zur Speisung aus der städtischen Netzspannung schaltet man einen passenden Widerstand vor. Das Licht wandert (Fig. 581) nach dem Prisma *b*, von dem es durch die

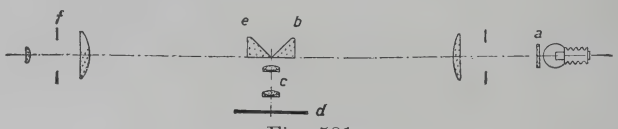


Fig. 581.

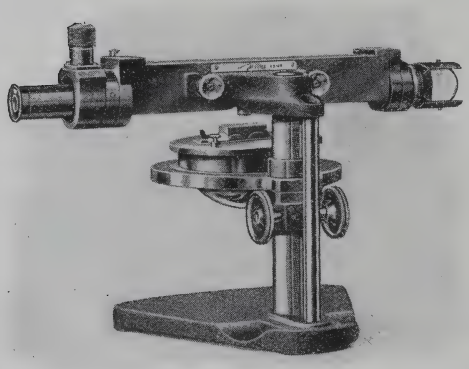


Fig. 582.
Metallmikroskop von C. Zeiß.

eine Hälfte des Objektivs *c* nach dem Erzstück *d* hinuntersteigt und nach Reflexion am Objekt *d* wieder durch das Objektiv zurückwandert, am Prisma *e* gespiegelt, nach dem Okular *f* und ins Auge gelangt. — Eine Konstruktionsidee von A. v. Inostranzeff [1]) erlaubt auch zartere Farbenunterschiede opaker Mineralien sicher wahrzunehmen. Das betreffende Instrument ist von verschiedenen Firmen moderner ausgestattet worden und zeigt sich in Fig. 583 und 584 in der Reichertschen, in Fig. 585 in der Metz-Leitzschen Ausführung. In dem Modell 583 hat man es mit zwei nebeneinander stehenden Mikroskopen zu tun, die ihre Objekte in derselben Weise durch Vertikalilluminatoren beleuchten. Man entfernt die Okulare und setzt statt dessen das Vergleichsokular ein, dessen innere Konstruktion aus Fig. 584 hervorgeht. Das von den Objektiven kommende Licht wird durch zwei totalreflektierende Prismen nach der Mitte

[1]) N. J. 1885. II, 94 - 96.

und hier durch zwei weitere Prismen in das gemeinschaftliche Okular geworfen. Legt man nun unter das eine Mikroskop das betreffende Mineral und unter das andere ein Vergleichsobjekt, so sieht man im

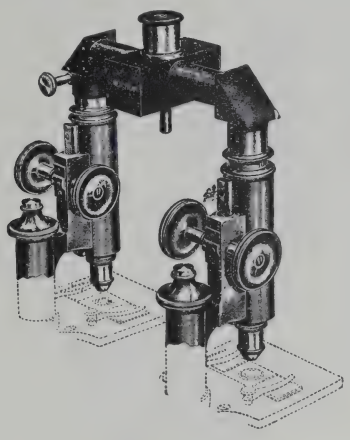


Fig. 583.
Vergleichsmikroskop nach A. v. Inostranzeff von C. Reichert.

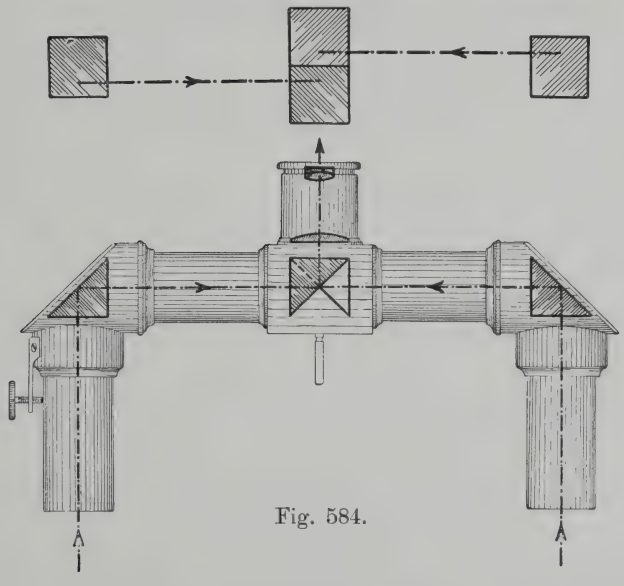


Fig. 584.

Okular ein kreisförmiges Bild, das durch eine feine Linie in der Mitte geteilt ist, und dessen eine Hälfte dem linken, dessen andere dem rechten Mikroskop angehört. Man kann auf diese Weise die Gleichheit oder Verschiedenheit der beiden Hälften erkennen. Bei der Leitzschen Konstruktion in Fig. 585, die als Vergleichsmikroskop von C. Metz be-

schrieben ist[1]), werden beide Tuben durch eine gemeinsame grobe und feine Vorrichtung eingestellt. Zum Ausgleich der Abweichungen in den optischen Konstanten der beiden Objektive trägt das eine von diesen

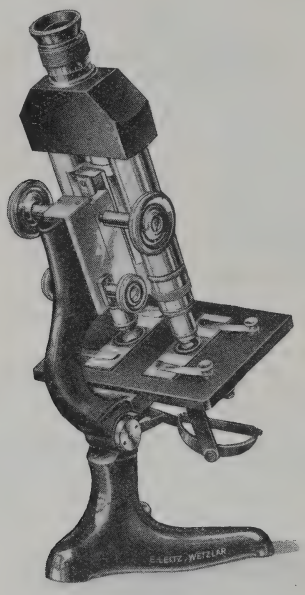


Fig. 585.
Vergleichsmikroskop nach C. Metz von E. Leitz.

noch eine Mikrometerschraube. Der Inostranzeffsche Gedanke ist auch wieder von W. Thörner aufgenommen worden[2]) und ähnlich wie bei dem Leitzschen Modell zur Durchführung gekommen.

Drittes Kapitel.

Achsenwinkelapparat, Konoskop und deren Anwendung.

Erster Abschnitt.

Die Verwendung der Erscheinungen im konvergenten Licht zur Diagnose.

155. Allgemeines. Im Anschluß an die Ausführungen der Paragraphen 51 bis 62 über die Inferenzerscheinungen in konvergenten polari-

[1]) Z. f. wiss. Mikrosk. **39.** 1922. 31–33. S. ferner C. Metz, Das Doppelmikroskop. Z. f. wiss. Mikrosk. **30.** 1913. 188—191, das die Beobachtung mit zwei Augen gestattet.

[2]) S. E. Wychgram, Aus optischen und mechanischen Werkstätten. Z. f. wiss. Mikrosk. **29.** 1912. 367—370; s. ferner Z. f. wiss. Mikrosk. **30.** 1913. 212—213.

sierten Licht sind nunmehr die Methoden zu erörtern, nach denen diese Erscheinungen beobachtet und zur Diagnose verwendet werden. Die Wanderungen der Isogyren bei einachsigen Kristallen sind schon in den Figuren 135—139, die der zweiachsigen Kristalle in Fig. 146 illustriert, auch ist das charakteristische Verhalten der „Pendelbarre“ auf S. 180 und der „Fächerbarre“ auf S. 189 erwähnt. Vor allem aber kommt es jetzt auf die optischen Achsen in ihrer Lage zueinander und zum Kristallgebäude an. Sie sind nicht nur für die Unterscheidung der Kristallsysteme, sondern auch für die Charakterisierung der Mineralarten und für die verschiedenen Glieder einer isomorphen Gruppe von hoher diagnostischer Bedeutung. Die Ausführung geschieht mit dem Achsenwinkelapparat oder mit dem Konoskop und gestaltet sich etwas verschieden, je nach der Lage der Präparate zur Indikatrix. Man kann hiernach die Beobachtungen an Achsenpräparaten senkrecht zur spitzen oder senkrecht zur stumpfen Bisektrix trennen von den Beobachtungen an Präparaten, die schief zu einer Bisektrix liegen und von Präparaten, die auf verschiedenen Flächen je eine Achse austreten lassen.

156. Achsenpräparate senkrecht zur spitzen oder senkrecht zur stumpfen Bisektrix. Die in den Interferenzbildern zwischen gekreuzten Nicols bei Diagonalstellung erscheinenden Hyperbeln geben in ihren Scheiteln die Austrittspunkte der optischen Achsen, wie sie in Paragraph 35 näher definiert sind. Der Abstand jener Scheitel ist ein Maß für die Größe des Winkels dieser Achsen. — Es stelle M (Fig. 586) ein senkrecht zur spitzen Bisektrix B geschnittenes Achsenpräparat vor, und

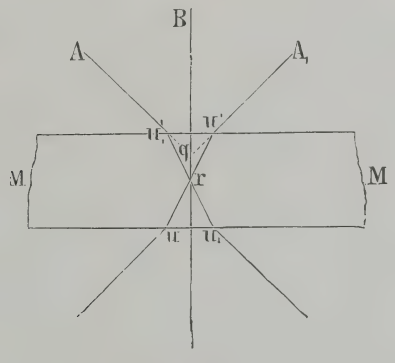


Fig. 586.

es seien $u\,u'$ und $u_1\,u_1'$ die optischen Achsen für eine bestimmte Farbe, also $u'ru_1'$ der wahre Winkel der optischen Achsen, den man nach Des Cloizeauxs Vorschlag 2V (véritable) nennt. Man unterscheidet den spitzen Winkel der optischen Achsen als $2V_a$ (a = aigu) von deren stumpfen Winkel $u'ru_1 = 2V_o$ (o = obtus). Eine Wellen-

normale, die das Blättchen in der Richtung der optischen Achse u u′ durchläuft, wird bei ihrem Austritt in Luft in der Richtung $u'A_1$ abgelenkt und bildet mit der Bisektrix den Winkel $A_1 q B = E_a$. Ebenso wird eine in der Richtung der zweiten Achse $u_1 u_1'$ das Blättchen durchlaufende Wellennormale nach A abgelenkt und bildet mit der Bisektrix den Winkel $A q B = E_a$. Beide bilden den scheinbaren Winkel der optischen Achsen $A_1 q A = 2E$ (évident). In der Richtung dieser wahren, der Beobachtung mittelbar zugänglichen optischen Achsen $u u'$ und $u_1 u_1'$ pflanzen sich die Wellennormalen mit einer dem mittleren Vektor $\mathfrak{b}$ entsprechenden Geschwindigkeit fort. Der Austritt erfolgt allein unter dem Einfluß des mittleren Index β, und das Snelliussche Gesetz gilt, wie schon in Paragraph 35 S. 119 gesagt, ausnahmslos, wie auch immer die Austrittsfläche gerichtet sein mag.

Die Messung des Achsenwinkels erfolgt durch Drehung des Präparats um eine senkrecht zur Zeichenebene der Figur 586 stehende Gerade, sodaß einmal das Bild der Achse A, dann das der Achse A_1 an demselben Punkt des Fadenkreuzes in einem Beobachtungsfernrohr erscheint. Nach der hierzu erforderlichen Drehung hat man aber nicht den wirklichen Winkel $2V_a = u' r u_1'$, sondern den scheinbaren Achsenwinkel in Luft $2E_a = A q A_1$ gemessen. In dem Spezialfall der Lage des Achsenpräparats, wie er in Figur 586 gezeichnet ist, hat man für den Übergang einer optischen Achse aus Mineral in Luft, da für die in Frage kommende Wellennormale $u' r B = V_a$ der Einfallswinkel, und $A_1 q B = E_a$ der Brechungswinkel ist:

$$\frac{\sin V_a}{\sin E_a} = \frac{1}{\beta}; \qquad \sin V_a = \frac{1}{\beta} \sin E_a.$$

Wenn die Neigung einer optischen Achse gegen die Plattennormale eine gewisse Größe überschreitet, die man als Grenzwinkel (vgl. S. 54) kennt, d. h. wenn $\sin V_a > 1/\beta$, so kann eine in der Richtung der Achse sich fortpflanzende Welle nicht mehr aus dem Blättchen in Luft austreten, sondern muß totale Reflexion erfahren. Um diese Totalreflexion zu vermeiden, umgibt man das Blättchen mit einem Medium von höherer Brechung als Luft, etwa mit Wasser, Öl, Schwefelkohlenstoff, α-Bromnaphtalin, auch wohl mit einer Jodkalium-Jodquecksilberlösung oder mit irgendeiner der S. 551 genannten Flüssigkeiten, und bestimmt nun den scheinbaren Achsenwinkel in dieser Flüssigkeit. Dieser wird nach dem besonders früher sehr häufig angewandten Öl (Huile) seit Des Cloizeaux mit $2H_a$ bzw. $2H_o$ bezeichnet. Am allerzweckmäßigsten, wenn dies die Natur des Achsenpräparats gestattet, ist als Einbettungsflüssigkeit Wasser zu wählen, weil für dieses Medium die Brechungsindizes für das ganze Spektrum und für die verschiedensten Temperaturen sehr genau bekannt sind (s. Tabelle auf nächster Seite).

Brechungsindizes des Wassers

bei 12°, 16°, 20°, 25°, 30° C, bezogen auf Luft von je derselben Temperatur, erhalten durch rechnerischen und graphischen Ausgleich aus den Beobachtungen von Baille, Brühl, Dale und Gladstone, Damien, Dufet, Fouqué, Fraunhofer, Ketteler, Landolt, Pulfrich, Rühlmann, Schütt, van der Willigen, Walter, Wüllner, wie sie in Landolt-Börnsteins Tabellen, 2. Aufl. 1894, 419, 420 aufgeführt sind.

Lichtart			Brechungsindex n des Wassers bezogen auf Luft von gleicher Temperatur				
Fraunhofersche Linie	Element	Wellenlänge λ in $\mu\mu$	12°	16°	20°	25°	30°
	K	768,5 ± 1,7	1,32934	1,32914	1,32882	1,32826	1,32765
A		761,1 ± 1,7	1,32945	1,32923	1,32892	1,32840	1,32780
a		718,8	1,33030	1,33008	1,32976	1,32926	1,32866
B		687,6	1,33097	1,33075	1,33043	1,32994	1,32934
	Li	670,8	1,33132	1,33110	1,33080	1,33030	1,32972
C	H_α	656,3	1,33167	1,33145	1,33115	1,33066	1,33008
D	Na	589,3 ± 0,3	1,33346	1,33326	1,33292	1,33242	1,33186
	Tl	535,1	1,33545	1,33520	1,33490	1,33439	1,33383
E		527,0	1,33578	1,33552	1,33522	1,33471	1,33415
F	H_β	486,1	1,33773	1,33745	1,33712	1,33658	1,33600
G′	H_γ	434,1	1,34105	1,34068	1,34035	1,33983	1,33920
h	H_δ	410,2	1,34291	1,34253	1,34218	1,34175	1,34105
H		396,9	1,34410	1,34367	1,34330	1,34294	1,34223

Die Unsicherheit bleibt bei allen Werten unterhalb ± 0,00005.

Ist der Brechungsindex n der Flüssigkeit bekannt, so ergibt sich aus der Messung von H der wahre Achsenwinkel V nach der Formel

$$\sin V_a = \frac{n}{\beta} \sin H_a.$$

Man kann diese Formel, wenn es sich um keine große Genauigkeit, also bei den Winkelwerten nicht um einzelne Minuten handelt, graphisch lösen. E. v. Fedorow[1]) hat schon 1896 ein Verfahren angegeben, das in den Darstellungen von V. de Souza-Brandão[2]) und F. E. Wright[3]) Verwendung gefunden hat. Ein anderer Weg ist in Fig. 587 angegeben[4]). In dieser Figur sind die mit 10°, 20° usw. und im Abstand von je 2°

[1]) Z. X. **26.** 1896. 246—247 und Tafel IV. S. auch W. W. Nikitin, La méthode universelle usw. 1914. Atlas, Tafel II und III.

[2]) O novo microscopio usw., Communicações do Serv. Geol. d. Portugal. **5.** 1903. 197 und Taf. 1.

[3]) „Methods", 1911. 151 und Tafel 7.

[4]) E. A. Wülfing, Numerische Apertur und Winkel der optischen Achsen. S. H. A. 1919. 5. Abh., 18. S.

Graphische Lösung der Gleichungen $U = \beta \cdot \sin V$ und $n \cdot \sin H = \beta \cdot \sin V$.

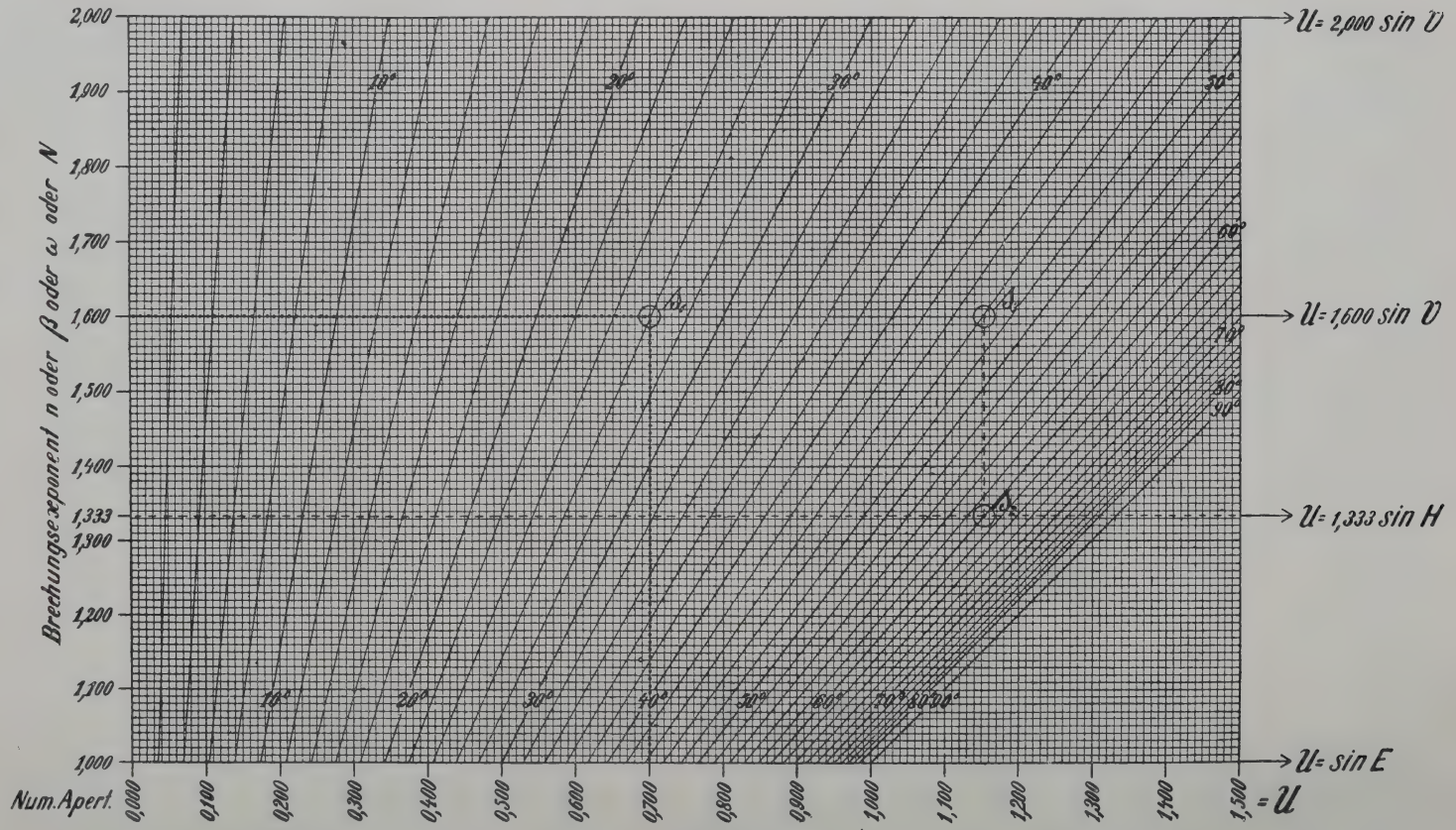


Fig. 587.

Zur Auffindung der Variabeln V in der Gleichung $U = \beta \cdot \sin V$, für $U = 0{,}700$ und $\beta = 1{,}600$, wandert man auf der Ordinate 0,700 bis zur Abszisse 1,600 und findet den Schnittpunkt s_1 nahe bei der schrägen Linie von 26°; V wird daher hier zu 26° gefunden, während die Rechnung 25° 57′ ergibt.

Zur Auffindung der Variabeln V in der Gleichung $n \cdot \sin H = \beta \cdot \sin V$, für $n = 1{,}333$, $H = 60°$, $\beta = 1{,}600$, wandert man auf der Abszisse 1,333 bis zur schrägen Linie von 60°, also bis zum Punkt s_2, und errichtet hier eine Ordinate, die die Abszisse 1,600 im Punkt s_3 schneidet. Dieser Punkt s_3 liegt ein wenig rechts von der schrägen Linie von 46°, etwa bei $46\frac{1}{5}°$, während die Rechnung 46° 11′ ergibt.

verlaufenden schrägen Geraden die Leitlinien für die in Betracht kommenden Winkel *E, H, V.* Die Nullabszisse, also die untere Kante des Bildes, läßt mit Hilfe dieser Leitlinien die numerische Apertur *U*, die zum Winkel *E* gehört (U = sin E), unmittelbar an den Punkten ablesen, wo eine schräge Gerade vom Wert *E* ihren Anfang nimmt. Ebenso findet man die numerische Apertur *U* einer Gleichung U = 1,333 . sin H oder U = 1,600 . sin V auf einer Abszisse 1,333 bezw. 1,600 usw.

Da die optischen Achsen für verschiedene Wellenlängen dispergiert sind, so findet man den Wert $2V_a$ oder $2E_a$ anders, je nachdem man den Apparat einmal mit rotem, dann mit gelbem, grünem usw. Licht beleuchtet. Die Beobachtung im weißen Licht, die bei geringer Dispersion der optischen Achsen gute Resultate geben kann, führt zu einem mittleren Wert für $2E_a$ oder $2V_a$. Stellt man die Beobachtungen und Messungen in stark dispergierenden Flüssigkeiten an, so muß man bedenken, daß die Erscheinung der Achsendispersion von den Brechungsverhältnissen sowohl des Kristalls als auch der Flüssigkeit für verschiedene Wellenlängen abhängt, und daß man aus der Verteilung der Farben im Achsenbild nicht immer unmittelbar auf die Lage der Achsen im Kristall schließen kann.

Mißt man den scheinbaren Achsenwinkel in einer Flüssigkeit von bekanntem Index an zwei Präparaten, von denen das eine senkrecht zur spitzen, das andere senkrecht zur stumpfen Bisektrix angefertigt ist, so lassen sich aus diesen beiden Messungen zwei Unbekannte ermitteln, nämlich der wahre Winkel der optischen Achsen und der mittlere Brechungsindex β. Diese von Des Cloizeaux[1]) zuerst benutzte Methode ist außerordentlich bequem. Der Index der angewandten Flüssigkeit sei n, dann ist nach den obigen Bezeichnungen

$$\sin V_a = \frac{n}{\beta} \sin H_a, \qquad \sin V_o = \frac{n}{\beta} \sin H_o,$$

$$V_a = 90^0 - V_o$$

und demnach

$$\operatorname{tg} V_a = \frac{\sin H_a}{\sin H_o},$$

$$\beta = n \sqrt{\sin^2 H_a + \sin^2 H_o}.$$

157. Achsenpräparate schief zu einer Bisektrix (Methode Kirchhoff). Steht die Bisektrix nicht senkrecht auf dem Blättchen, so ergibt sich der Achsenwinkel für alle möglichen Einzelfälle aus der allgemeinen Lösung des Problems durch Kirchhoff[2]). In der stereographischen Projektion (Fig. 588) seien *A* und *B* die optischen Achsen innerhalb des Kristalls, A_1 und B_1 ihre Richtungen, wie sie bei dem Übergang aus dem

[1]) Manuel de Min. I. 1862. XXXVI.

[2]) Über den Winkel der optischen Achsen des Aragonits für die verschiedenen Fraunhoferschen Linien. Pogg. Ann. **108.** 1859. 571—573 oder in Kirchhoffs Ges. Abhandlungen, Leipzig 1882. 561.

Blättchen in das umgebende Medium entstehen, N und M die Plattennormale und die Bisektrix. Mit den in den Paragraphen 160 und 161 beschriebenen Instrumenten kann man die Lage der Plattennormale in N und die optischen Achsen in A_1 und B_1 beobachten. Damit erhält man die Winkel $A_1N = a_1$, $B_1N = b_1$ und auch $A_1B_1 = 2E$. Ist ferner der mittlere Brechungsindex β bekannt, so ergibt sich aus Fig. 588

bei Messung in Luft	bei Messung im Medium mit Index n
$\sin a = \frac{\sin a_1}{\beta}$, $\sin b = \frac{\sin b_1}{\beta}$;	$\sin a = \frac{n}{\beta} \sin a_1$, $\sin b = \frac{n}{\beta} \sin b_1$.

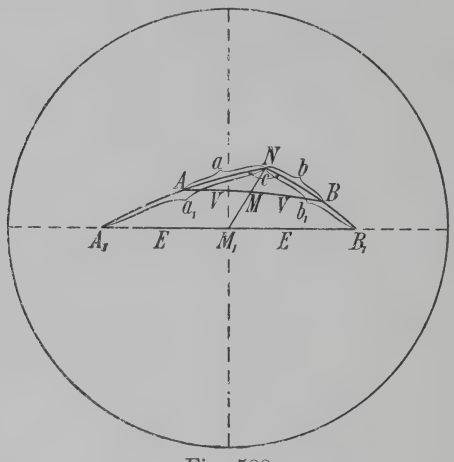


Fig. 588.

Da nun nach dem Kosinussatz

$$\cos 2E = \cos a_1 \cos b_1 + \sin a_1 \sin b_1 \cos c,$$
$$\cos 2V = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos c,$$

so folgt aus beiden Gleichungen für die in Luft ausgeführten Messungen

$$\cos 2V = \cos a \cos b + \frac{1}{\beta^2}(\cos 2E - \cos a_1 \cos b_1),$$

für die im Medium mit Index n ausgeführten Messungen

$$\cos 2V = \cos a \cos b + \frac{n^2}{\beta^2}(\cos 2E - \cos a_1 \cos b_1).$$

Man sieht, daß Beobachtung und Rechnung bei schief liegenden Präparaten viel umständlicher sind, als bei normal zur Bisektrix liegenden Blättchen, sodaß man immer nach Möglichkeit bestrebt sein wird, diese normale Lage zu erreichen. Von praktischer Bedeutung ist daher die Frage nach der Größe des Einflusses der Plattenschiefe auf das Endresultat.

Liegt das Präparat in seiner Schiefe symmetrisch zu beiden Achsen, ist also $a_1 = b_1$, so findet man — auf den ersten Blick vielleicht über-

raschenderweise — 2E ebenso groß wie bei einem senkrecht zur Bisektrix stehenden Präparat. Es ist nämlich in der für diesen Fall symmetrisch verändert gedachten Figur 588 ($\sphericalangle$ NMB = $\sphericalangle$ NM_1 B_1 = 90°):

$$\sin AM = \sin V = \sin a \sin \frac{c}{2}, \qquad \sin A_1 M_1 = \sin E = \sin a_1 \sin \frac{c}{2}$$

und also

$$\sin V = \frac{\sin a}{\sin a_1} \sin E = \frac{1}{\beta} \sin E.$$

Liegt aber das Präparat unsymmetrisch zu den beiden optischen Achsen, so ist der Einfluß auf die Veränderung von 2E am größten, wenn die Plattennormale mit der Ebene der optischen Achsen zusammenfällt, N also zwischen A und M oder B und M zu liegen kommt. Die Diskussion der Kirchhoffschen Formel durch B. Hecht[1]) hat dahin geführt, daß der störende Einfluß am geringsten wird, wenn man die Messung in einer Flüssigkeit vornimmt, deren Index möglichst nahe mit β übereinstimmt. Auch bei stärkerer Abweichung von dieser Vorschrift kann, bei einer ungünstigen Plattenschiefe von 3°, der Fehler in der Bestimmung von 2V nur etwa $^1/_5{}^0$ betragen.

158. Beobachtung der einzelnen Achsen auf verschiedenen Flächen (Methode Tschermak und Methode Wülfing). Bei den monoklinen Pyroxenen hat G. Tschermak schon 1871[2]) den Austritt der optischen Achsen A und B auf der Querfläche (100) und der Basis (001) benutzt, um den Achsenwinkel 2V und die Auslöschungsschiefe Σ auf der Längsfläche (010) zu ermitteln. In Fig. 589 sind diese Verhältnisse dargestellt. Nach Messung der Winkel u_1 und o_1 und nach Kenntnis des Brechungsindex β erhält man die Winkel u und o nach dem Snelliusschen Brechungsgesetz. Es ist

$$\sin u = \frac{\sin u_1}{\beta} \qquad \sin o = \frac{\sin o_1}{\beta}.$$

Kennt man ferner die Neigung der Querfläche gegen die Basis = β^0, so folgt aus Fig. 589

$$2V = 180^0 - \beta^0 + o - u,$$
$$\Sigma = \frac{\beta^0 - u - o}{2}.$$

Man kann auch den Achsenaustritt auf andern Flächen beobachten und daraus die Lage der optischen Achsen im Kristall ableiten. Dieses Verfahren läßt sich am einfachsten an zwei Beispielen erläutern. An einem Aktinolith vom Pfitschtal gelangt die nach vorne geneigte optische Achse auf einer Prismenfläche schief zum Austritt, wenn nur das Spaltungsprisma in der Breite seiner Flächen etwas unsymmetrisch, also im Querschnitt, nicht wie Fig. 590, sondern wie Fig. 591 hergestellt wird. Im

[1]) N. J. 1887. I. 250—261.
[2]) T. M. M. **1.** 1871. 17—46, insbesondere 21—23.

ersteren Fall würde ja die in der Symmetrieebene liegende Achse keine parallelen Ein- und Austrittsflächen haben, sondern einen prismatischen Körper durchsetzen müssen. Eine auf (110) austretende Achse wird nun bei dem hier neu beschriebenen Wülfingschen Verfahren nicht nur gegen die Normale auf m = (110), sondern auch gegen die Normale auf $m' = (1\bar{1}0)$ gemessen. Diese beiden Messungen geschehen also, um dies zu wiederholen, an ein und derselben optischen Achse, die hier nur auf der Fläche (110) zum Austritt gelangt. Man findet an dem erwähnten Aktinolith und nach der Bezeichnung der Fig. 592 bei Messung in Luft und für Na-Licht

$$\begin{aligned} A_l \cdot m &= 72^\circ\ 0' \\ A_l \cdot m' &= 41^\circ 12' \\ m \cdot m' &= 55^\circ 50'. \end{aligned}$$

Aus diesen drei Winkeln erhält man aus dem schiefwinkligen Dreieck $m \cdot m' \cdot A_l$ und dem rechtwinkligen Dreieck $m \cdot a \cdot A$

$$\begin{aligned} A \cdot a &= 23^\circ 19',4 \\ A \cdot m &= 35^\circ 45',9. \end{aligned}$$

Hieraus ergibt sich nach dem Sinusverhältnis der Winkel $A_l \cdot m$ und $A \cdot m$ der mittlere Brechungsindex β zu

$$\frac{\sin (A_l \cdot m)}{\sin (A \cdot m)} = \beta = 1{,}6273,$$

denn die optische Achse wird auch hier, um dies noch einmal zu betonen, bei dem Austritt aus der Fläche m, wie auch auf allen sonstigen Flächen, die überhaupt ihren Austritt möglich machen, nach der mittleren Brechung β abgelenkt.

Man hat also aus den beiden beobachteten Winkeln $A_l m$ und $A_l m'$ die Lage der optischen Achse A und den Brechungsindex β gefunden. Fügt man noch als dritte Beobachtung die an dem Spaltblättchen ohne weiteres zu messende Auslöschungsschiefe $\sigma = E m c = -13^\circ 6'$ hinzu, so erhält man, wie Fig. 592 unter Berücksichtigung der Verhältnisse in Fig. 517 erläutert, den Winkel ν und damit auch die Lage der Achse B, der Bisektrix c und der Auslöschungsschiefe $\Sigma = c c$. Zusammenfassend führen die drei optischen Beobachtungen

1. Achsenaustritt von A auf (110) gegen Normale auf (110)
2. „ von A auf (110) gegen Normale auf $(1\bar{1}0)$
3. Auslöschungsschiefe auf (110),

zu den drei optischen Konstanten

$$\begin{aligned} 2V &= 73^\circ 43' \\ \Sigma &= -13^\circ 32' \\ \beta &= 1{,}6273. \end{aligned}$$

Diese neue Methode ist zu empfehlen bei Mineralien, die wie Hornblende der Präparation größere Schwierigkeiten bereiten.

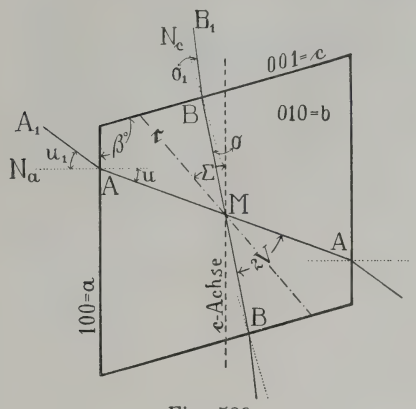


Fig. 589.

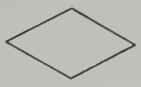


Fig. 590.

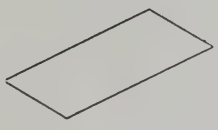


Fig. 591.

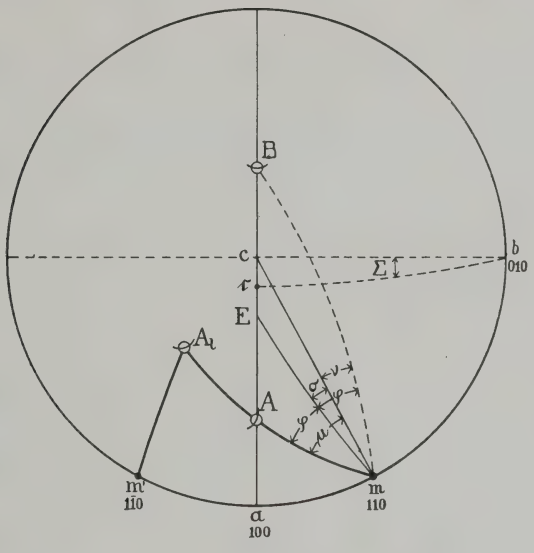


Fig. 592.

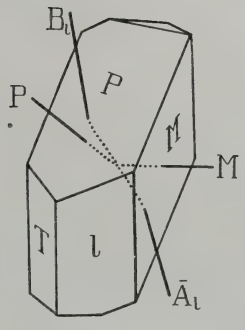


Fig. 593.

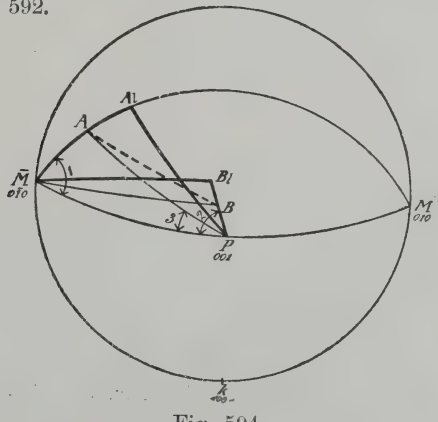


Fig. 594.

Wenn die Neigung der Achse gegen die Spaltfläche zu groß wird, um in Luft austreten zu können, so beobachtet man in Wasser oder in einer stärker brechenden Flüssigkeit. So findet man an Spaltblättchen des Spodumens in der Varietät des Kunzits von Pala, San Diego Co., Cal., bei Einbettung in α-Bromnaphtalin mit der Lichtbrechung $n = 1{,}658$ bei Na-Licht

$$\begin{aligned} A_h \cdot m &= 54^\circ 24' \\ A_h \cdot m' &= 53^\circ 18' \\ m \cdot m' &= 93^\circ 18' \\ \sigma &= -22^\circ 0', \end{aligned}$$

woraus sich ergibt

$$\begin{aligned} 2V &= 69^\circ 11' \\ \Sigma &= -24^\circ 58' \\ \beta &= 1{,}6722. \end{aligned}$$

Diese Methode der räumlichen Festlegung der optischen Achsen durch Messung gegen zwei Flächennormalen läßt sich auch bei triklinen Kristallen anwenden[1]). Sie ist hier besonders zu empfehlen, weil damit manche in diesem System schwierigere Präparation von orientierten Schliffen unnötig wird. Bei dieser Anwendung auf das trikline System muß man aber, was in den vorigen Fällen bei Aktinolith und Spodumen nicht erforderlich war, den mittleren Brechungsexponenten β näherungsweise, d. h. auf zwei oder höchstens drei Dezimalen kennen. Bei einem solchen Kristall ist nun erstens die Neigung der beiden in Luft austretenden optischen Achsen gegen die Normalen der Flächen, auf denen sie austreten, zu messen und zweitens die Neigung einer jeden optischen Achse gegen die Normale einer zweiten bekannten Fläche, z. B. der Fläche, auf der die andere Achse austritt, zu ermitteln. Sollten die Achsenaustritte in Luft wegen des Überschreitens des Grenzwinkels nicht erfolgen können, so hat man die Messung in einer Flüssigkeit mit bekanntem Index auszuführen. Aus diesen vier Winkeln erhält man nicht nur die Größe $2V$, sondern auch die Lage der optischen Achsen im Kristallgebäude und damit das sicherste Fundament für die ganze optische Orientierung. Zur Erläuterung der Verhältnisse, wie sie beim Anorthit auftreten, können Fig. 593 und Fig. 594 dienen. Die optischen Achsen A und B treten in Luft in der Richtung A_l und B_l auf den Flächen $\overline{M}$ und P aus und werden nun wieder durch je zwei Winkel räumlich festgelegt. Diese vier zu messenden Winkel sind in Fig. 594 stark ausgezogen.

[1]) E. A. Wülfing, Über eine neue Methode zur Orientierung der Plagioklase. Z. X. **36.** 1902. 403–407. H. Dufet hat schon ähnliche Versuche an Spaltblättchen von Kaliumbichromat angestellt. Er legte die Plattennormalen auf einem etwas umständlichen Wege durch Beobachtung der Grenzen der Totalreflexion fest, mußte also in einer Flüssigkeit beobachten, die den Kristall an Lichtbrechung übertraf. Sein Instrument erlaubte keine unmittelbare Beobachtung der Plattennormale. Bull. Soc. Min. Fr. **13.** 1890. 341—353, insbesondere 342—343. — S. auch die optische Untersuchung des Anorthits vom Vesuv bei J. Kratzert l. c. (s. o. S. 510, Fußnote 20).

$\overline{M}A_l$ ist der Winkel der auf $\overline{M}$ in Luft austretenden Achse A gegen die Normale auf $\overline{M}$.
PA_l „ „ „ „ „ $\overline{M}$ „ „ „ „ A „ „ „ „ P.
MB_l „ „ „ „ „ P „ „ „ „ B „ „ „ „ $\overline{M}$.
PB_l „ „ „ „ „ P „ „ „ „ B „ „ „ „ P.

Da auch für trikline Verhältnisse, wie überhaupt ganz allgemein für alle Wellennormalen in der Richtung der optischen Achsen, das Snelliussche Gesetz gilt, so liegen Einfallslot ($\overline{M}$), optische Achse im Kristall (A) und optische Achse in Luft (A_l) in einer Ebene, der Bogen MAA_l ist ein größter Kreis, und es folgt

$$\sin \overline{M}A = \frac{\sin \overline{M}A_l}{\beta}$$

und analog

$$\sin PB = \frac{\sin PB_l}{\beta}.$$

Für die weitere Rechnung zur Ermittlung des Winkels AB kann man sich etwa an folgende Disposition halten:

In $\triangle \overline{M}A_lP$ gegeben drei Seiten, gesucht Winkel bei $\overline{M}$ ($\sphericalangle$ 1).
„ $\triangle \overline{M}B_lP$ „ „ „ „ „ „ „ P ($\sphericalangle$ 2).
„ $\triangle \overline{M}AP$ „ zwei „ und eingeschlossener Winkel bei $\overline{M}$, gesucht Seite AP und Winkel bei P ($\sphericalangle$ 3).
„ $\triangle ABP$ „ „ „ und eingeschlossener Winkel bei P ($\sphericalangle$ 2—3), gesucht Seite $AB = 2V$.

Diese Methode der Orientierung im konvergenten Licht mit Hilfe des Achsenwinkelapparates hat gegenüber den Beobachtungen der Auslöschungsschiefen, also der Anwendung des parallelen Lichtes, den Vorzug der größeren Genauigkeit. Man kann bei allen einigermaßen durchsichtigen Kristallen die optischen Achsen bis auf wenige Minuten räumlich festlegen.

Zweiter Abschnitt.

Achsenwinkelapparat und Konoskop.

159. Der Fernrohrstrahlengang bei Beobachtung der Interferenzerscheinungen im konvergenten Licht. Die Figuren 115, S. 161 und 124, S. 171 lassen erkennen, daß die Interferenzerscheinungen, wie sie uns in den Figuren 133, S. 178 oder 141, S. 182 oder in ähnlichen Abbildungen entgegentreten, auf einem Strahlengang beruhen, der dem eines Fernrohrs, nicht eines Mikroskops vergleichbar ist. Denn die eintretenden Strahlen DC und D_1C_1 und die austretenden Strahlen BA und B_1A_1 in Fig. 115 sind je untereinander parallel und werden durch einen

optischen Mechanismus erzeugt, wie er in Fig. 595 schematisch dargestellt ist. Hier entsteht aus einem leuchtenden Punkt O und seiner Kugelwelle K durch eine in Brennweite aufgestellte Sammellinse L ein Bündel paralleler Strahlen und eine senkrecht dazu liegende ebene Welle W. Umgekehrt wird das von einem fern gelegenen Gegenstand in der Fadenkreuzebene eines auf Unendlichkeit[1]) eingestellten Fernrohrs entworfene Bild durch Lichtstrahlen erzeugt, die als ebene Wellen in das Fernrohr eintreten.

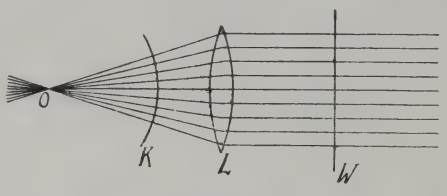


Fig. 595.

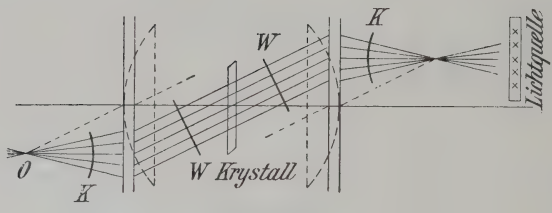


Fig. 596.

[1]) Man arbeitet in der Kristalloptik nur mit Fernrohren, die auf Unendlichkeit eingestellt sind, wobei allerdings das Maß des Unendlichen eine starke Einschränkung erfährt. Es genügt nämlich meistens, wenn die Entfernung des Gegenstandes das 50 bis 100fache der Brennweite beträgt, wie dies o. S. 282 schon empfohlen wurde. Bei Fernrohrobjektiven mit sehr kleinen Brennweiten, wie bei den zu Fernrohren benutzten Objektiven der Mikroskope, genügt es also vollkommen, ein Objekt in wenigen Metern Entfernung anzuvisieren, um sagen zu können, das Fernrohr sei auf Unendlichkeit eingestellt. Nennt man A die Objektweite, B die Bildweite und F die Brennweite einer Linse, so ist nach Paragraph 89, S. 268, Formel (12)

$$B = \frac{A \cdot F}{A - F}.$$

Nach dieser Formel berechnet, lauten bei einer Linse von 10 mm Brennweite die Abstände

F	A	B
10 mm	50 F = $^1/_2$ m	10,20 mm
10 „	100 F = 1 „	10,10 „
10 „	1000 F = 10 m	10,01 „

Bei 50-, 100- und 1000-fachem Brennweitenabstand liegen die Bildpunkte also nur 0,20, 0,10 und 0,01 mm hinter der wahren Brennebene.

Überträgt man diese Verhältnisse eines Fernrohrstrahlenganges auf Vorgänge, wie sie in Fig. 124, S. 171 auf einer Seite der Kristallplatte für zwei Neigungen und in Fig. 596 beiderseits der Kristallplatte aber nur für eine Neigung abgebildet sind, so sieht man, wie die ebenen Wellen W und W rechts aus einer Kugelwelle K hervorgehen und links in eine Kugelwelle K zurückverwandelt werden. Es muß daher bei der Erzeugung der Erscheinungen im konvergenten Licht beiderseits der Kristallplatte je ein optischer Mechanismus angebracht werden, der dem Fernrohrstrahlengang vergleichbar ist. Der eine Mechanismus dieser Art für die Beleuchtung wird der Kondensor, der andere für die Beobachtung wird das Fernrohr des Achsenwinkelapparates genannt.

Wie nun bei einem Fernrohr das reelle Bild eines entfernten Gegenstandes in der Brennebene des Objektivs liegt, so erfahren bei dem Fernrohr eines Achsenwinkelapparats die Interferenzerscheinungen ihre schärfste Abbildung ebenfalls in jener Brennebene. Die einzelnen Punkte eines solchen Interferenzbildes werden, wie gesagt, durch Strahlen erzeugt, die je untereinander parallel aus der Kondensorlinse aus- und in das Objektiv eintreten. Es ist zu betonen, daß diesen Parallelismus nur die zu einem einzigen Bildpunkt gehörenden Strahlen aufweisen, daß aber verschiedene Bildpunkte von sehr verschieden gerichteten Lichtbündeln — nicht Lichtbüscheln — herstammen (s. S. 138, Fußnote 1). Nur die Gesamtheit des in den Kristall eintretenden Lichtes macht den Eindruck eines Büschels, weil man die einzelnen mehr oder weniger fadenförmigen Lichtbündel wegen ihrer Dünne nicht mehr erkennt. So breit wie in Fig. 596 können ja die den Kristall durchsetzenden Lichtbündel nur bei sehr großen Lichtquellen (Wolkenlicht) werden. Von dieser Anordnung der Strahlen rührt die irreführende und auch tatsächlich oft mißverstandene Bezeichnung der Beobachtung im konvergenten Licht her. Je stärker nun diese verschiedenen, vom Fernrohr noch aufgenommenen Lichtbündel gegeneinander geneigt sind, umso größer ist die Apertur des Fernrohrs, und umso größer ist der kegelförmige Raum, innerhalb dessen die Interferenzerscheinungen überblickt werden. Will man also in den Kristallen diese Erscheinung innerhalb eines großen Winkelraums überschauen, so muß man lauter Bündel von parallelen Lichtstrahlen in sehr verschiedenen Richtungen durch den Kristall schicken oder die Kristallplatte vor ein Fernrohr von großer Apertur bringen. Apertur und Vergrößerung stehen bei den Fernrohren im allgemeinen in umgekehrtem Verhältnis. Wenn man daher zuweilen Winkelräume von 120° übersehen will, so muß man Fernrohre von sehr schwacher Vergrößerung oder anders ausgedrückt von sehr starker Verkleinerung anwenden. Man kann ebensogut von der Vergrößerung $^1/_2$, wie von der Verkleinerung 2 sprechen, soll aber letztere nicht etwa, wie das manchmal geschehen ist, als eine negative Vergrößerung 2 bezeichnen. Man verwendet bei kristalloptischen Untersuchungen oft Fernrohre von 120°

Apertur und 50facher und noch stärkerer Verkleinerung. Sie haben mit den gewöhnlichen Fernrohren wenig Ähnlichkeit und verdienen daher zweckmäßigerweise — noch dazu, wenn sie mit Polarisatoren verbunden sind — eine besondere Bezeichnung. Sehr geeignet und auch recht verbreitet ist der von Tschermak eingeführte Name Konoskop[1]).

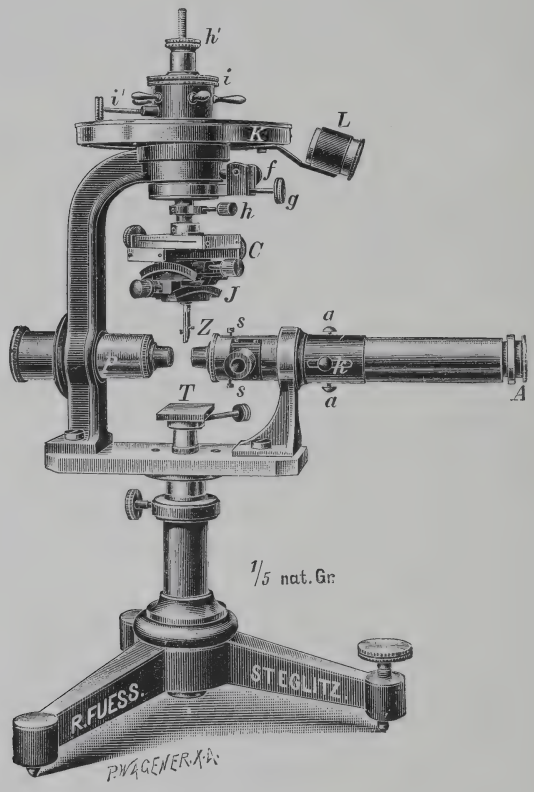


Fig. 597.
Achsenwinkelapparat nach E. A. Wülfing von R. Fueß.

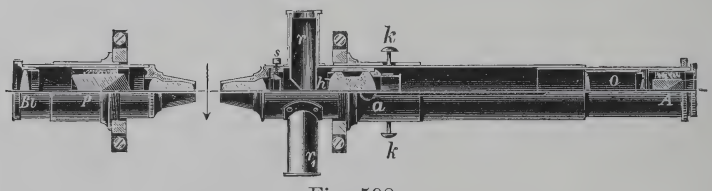


Fig. 598.
Fernrohr und Kollimator des Achsenwinkelapparats nach E. A. Wülfing von R. Fueß.

[1]) Der früher von mir vorgeschlagene Name „Konometer“ (S. H. A. 1911, 3. Abh., S. 1, Fußnote 1) für Konoskope, die zur quantitativen Bestimmung der Lage der optischen Achsen der Kristalle dienen, ist besser zu streichen, weil man mit den Konoskopen auch häufig Messungen ausführt.

160. Achsenwinkelapparat. Die Aufgaben, die der Kristalloptiker nach den Paragraphen 157 und 158 experimentell lösen soll, verlangen die Einstellung nicht nur der optischen Achsen, sondern auch der Flächennormalen. Hierzu eignet sich der in Fig. 597 und 598 abgebildete Wülfingsche Achsenwinkelapparat.[1]) Die mechanische Anordnung ist die gleiche, wie bei andern Konstruktionen dieser Art, nur ist der Limbusträger auf einen Arm links beschränkt, um die Zentrier- und Justierschrauben C und J mit der das Präparat haltenden Zange Z leichter erreichen zu können. Schraube h' dient zum Senken und Heben des Zentrierkopfes, und h zur Fixierung in einer bestimmten Höhe. i' klemmt die Zentrierkopfachse an den durch die Kappe K geschützten und durch die Lupe L ablesbaren Limbus, dessen grobe Bewegung am Speichenrad oben und dessen Feinstellung durch die Schrauben f und g erfolgt.

Wesentlich neu — wenn auch nicht im Prinzip, wie der Vergleich mit der Amici-Bertrandschen Methode im allgemeinen und dem Voigt & Hochgesangschen Konoskop (Fig. 388 und S. 391) im besonderen zeigt, — ist die optische Einrichtung des Fernrohrs, das mit seinem Beleuchtungsrohr in Fig. 598 in teilweise aufgeschnittenem Zustand dargestellt ist. Das Objektiv, dessen Fokalebene zwischen den Schrauben s (s. auch Fig. 597) liegt, besteht aus einer einzigen verkitteten, achromatischen und aplanatischen Linse, die sich nur in dem vorne kegelförmig abgeschliffenen Rand von der in Fig. 285 abgebildeten Lupe unterscheidet; es sind also nicht mehrere Linsen hintereinander gesetzt, wie bei allen etwas stärkeren Mikroskopobjektiven oder bei vielen andern Achsenwinkelapparaten. Dadurch verliert man, da auch der aplanatische Charakter der Linse einigermaßen gewahrt bleiben sollte, erheblich an Gesichtsfeld, gewinnt indessen wieder bedeutend an freiem Objektabstand und kann sich vor allem mit Vorteil der Gaußschen Methode der Autokollimation zur Einstellung der Plattennormale bedienen. Zu diesem Ende ist ein Querrohr rr_1 (Fig. 598) angebracht, das auf der einen Seite ein innen schräg abgeschnittenes Röhrchen mit dem unter 45° geneigten Gaußschen Spiegelglas, auf der andern Seite eine Kappe trägt. Nach Entfernung der Kappe fällt von einer seitlich aufgestellten Lampe Licht auf das Spiegelglas, geht am Fadenkreuz vorbei durch Brennebene und Objektiv und wird bei Normalstellung der Kristallplatte in sich selbst zurückgeworfen, sodaß direkt gesehenes und gespiegeltes Fadenkreuz zur Deckung kommen. — Rechts vom Gaußschen Spiegel in Fig. 598 liegt eine dicke, ebenfalls aus verkitteten Gläsern bestehende Linse h, die durch die Griffknöpfchen a von einem Ende des Rohrs zum andern verschoben werden kann. In der durch Fig. 598 dargestellten

[1]) E. A. Wülfing, Die Theorie der Beobachtung im konvergenten Licht und Vorschläge zur Verbesserung der Achsenwinkelapparate. N. J. B. B. **12.** 1898. 405—446 und 4 Tafeln; E. A. Wülfing, Über die Konstanten der Konometer. S. H. A. 1911, 3. Abh., 12 S.

Lage entwirft diese Linse von einer in der Ebene *s s* auftretenden Erscheinung ein vierfach vergrößertes Bild in der Ebene der Okularblende, und bei Verschiebung nach der rechten Seite in der Nähe des Okulars *o* wird eine solche Erscheinung viermal verkleinert. Wenn also, wie aus den übrigen Linsenmaßen hervorgeht, in dem ersten Fall die Kombination von Objektiv, Hilfslinse und Okular ein etwa zweifach vergrößerndes Fernrohr darstellt, so gibt sie im andern Fall ein solches von achtfacher Verkleinerung; und bei mittlerer Lage jener Linse *h*, die auch eine Verschiebung des Okulars notwendig macht, erhält man alle zwischen 2 und $^1/_8$ liegenden Vergrösserungen. Man kann sich auf diese Weise innerhalb weiter Grenzen der Güte eines Interferenzbildes anpassen. — Die Knöpfchen *k* dienen zur Verschiebung des ganzen Tubus und erlauben den Kristall auch mikroskopisch zu betrachten. *Bl* ist eine Beleuchtungslinse, *P* der Polarisator, *A* der Analysator, *T* ein Tischchen zum Aufsetzen eines planparallelen Gefäßes zur Beobachtung der Achsenbilder innerhalb einer Flüssigkeit.

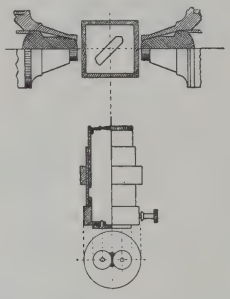


Fig. 599.
Seitenkollimator am Wülfingschen Achsenwinkelapparat.

Bei sehr kleinen und schlecht spiegelnden Kristallen hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die Autokollimation durch die Verwendung eines kleinen rechtwinklig zum Fernrohr liegenden Seitenkollimators zu ersetzen. Dieser Kollimator ist in der aus älterer Zeit stammenden Fig. 597 noch nicht angebracht, kann aber in seiner Anordnung aus Fig. 599 erkannt werden. Der Gaußsche Spiegel ist damit nicht überflüssig geworden, weil er nach wie vor dazu dient, das Fernrohr senkrecht zur Achse des Limbus *K* einzustellen. Die nötigen Korrekturen werden am Fadenkreuz mittelst der Schrauben *s* vorgenommen. Auch wird mit dieser Autokollimation die Wandung des Glastroges genau senkrecht zum Fernrohr eingestellt.

Bei dicken Platten, bei denen viele Lemniskaten entstehen, kann man auch mit einem wenig verkleinernden Fernrohr beobachten. Hier ist sogar ein mit Nicolschen Prismen versehenes Websky-Fueßsches Goniometer als Achsenwinkelapparat ausgezeichnet zu verwenden. Selbst 1 mm schmale Präparate, wenn sie nur dick genug sind, eignen sich zur

Messung mit einem solchen Instrument. Will man in Flüssigkeit beobachten, so muß man die Apparatur von Brögger-Ramsay[1]) anwenden und den Kristall durch einen passend gebogenen Bügel von oben her in das Flüssigkeitsgefäß eintauchen.

Einen Achsenwinkelapparat mit zwei Kreisen hat C. Viola[2]) angegeben.

161. Konoskop. Ähnlich dem Achsenwinkelapparat stellt auch das Konoskop ein mit Polarisatoren versehenes Fernrohr dar, das nur in seinen Aperturverhältnissen bedeutend gesteigert ist. Man will mit einem solchen Konoskop die Veränderungen der Lichtbewegungen erkennen, die bei sehr verschiedenen Neigungen der Strahlen durch eine Kristallplatte entstehen. Man will also die Erscheinungen, die etwa innerhalb eines Kegelraumes von 120° und mehr auftreten, auf einmal überblicken. Auch hier ist, wie bei dem Achsenwinkelapparat, für jeden Punkt des Bildes der parallele Strahlengang oder der Fernrohrstrahlengang durch die Kristallplatte erforderlich. Fernrohre mit solchen Objektiven wurden in den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts von J. G. C. Nörrenberg konstruiert und in ihrem Strahlengang von E. Reusch[3]) beschrieben; sie heißen gewöhnlich, wenn sie mit Polarisatoren verbunden sind, Polarisationsinstrumente. Ihre Objektive pflegen oft sehr grob aus nur drei bis vier hintereinander geschalteten plankonvexen Linsen zu bestehen, die hauptsächlich eine sehr große Apertur besitzen. Will man nun aber die Beobachtung im konvergenten Licht mit der im parallelen Licht am gleichen Objekt verbinden und abwechselnd teleskopischen und mikroskopischen Strahlengang anwenden, will man also jetzt das Achsenbild beobachten und gleich nachher jene Teile eines Kristalls erkennen, die dieses Achsenbild hervorgerufen haben, so eignen sich hierzu die Linsensätze der Nörrenbergschen Polarisationsinstrumente nicht gut. Dagegen hat man in den Objektiven der Mikroskope Linsenkonstruktionen, die sich für solche kristalloptischen Beobachtungen sowohl als Mikroskopobjektive wie als Fernrohrobjektive vortrefflich verwenden lassen und die sich sogar besonders empfehlen, weil sie zum Teil über ganz enorme Aperturen verfügen. In den Figuren 600, 601, 602 sind drei solcher Objektive mit Gesichtsfeldern von 10°, 30° und 120° schematisch dargestellt. Ihre Aequivalentbrennweiten betragen 32 mm, 9 mm und 5 mm, ihre freien Objektabstände messen — bei einer Tubuslänge von 160 mm — 40 mm, 4 mm und 0,6 mm, ihre objektiven Sehfelder (s. § 101. S. 342) haben einen Durchmesser von 6 mm, 2 mm und 0,5 mm. Gesichtsfeld und Sehfeld stehen, wie man aus den Zahlen erkennt, in annähernd umgekehrtem Verhältnis; die starken Systeme, die

[1]) Z. X. **12.** 1887. 209—221.

[2]) C. Viola, Über ein Universalinstrument für Kristallographie. Z. X. **28.** 1897. 165—168.

[3]) Sitzungsbericht der 34. Versammlung d. Deutsch. Naturf. u. Ärzte 1858. 160—163; s. ferner E. A. Wülfings Darlegungen in N. J. B. B. **12.** 1898. 409—414.

als Fernrohrobjektive einen großen Winkelraum beherrschen, lassen als Mikroskopobjektive nur eine kleine Fläche überblicken. Zum Vergleich der Größe der Gesichtsfelder können noch die unteren Teile der Figuren 600, 601, 602 dienen, die ein und dasselbe Achsenbild unter Objektiven von verschiedener Apertur zeigen sollen. Trockensysteme haben meistens kein größeres Gesichtsfeld als 116°, 128°, 144° oder eine numerische Apertur von 0,85, 0,90, 0,95. Immersionssysteme lassen bei ihrer größeren bis zu 1,40 gehenden numerischen Apertur entsprechend

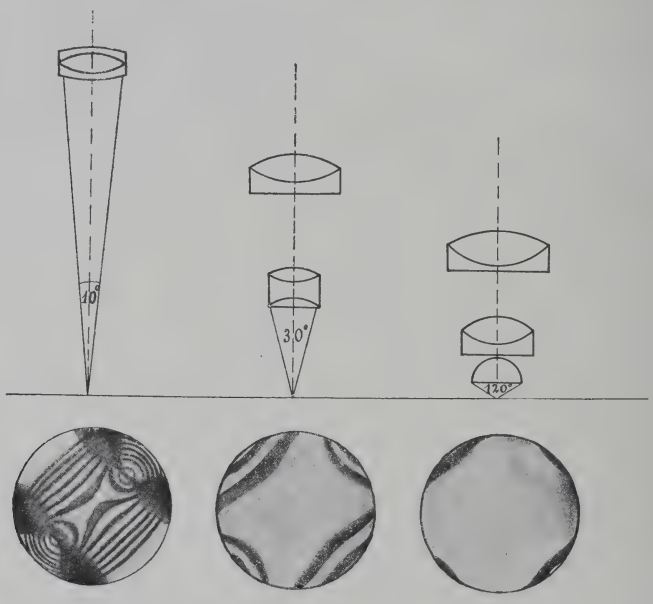


Fig. 600. Fig. 601. Fig. 602.

größere Winkelräume überschauen, worüber die Tabelle auf S. 358 Aufschluß gibt. Da diese Immersionen aber kostbar sind und auch wegen der zarten Fassung ihrer Frontlinse eine sehr vorsichtige Behandlung verlangen, so hat man nach dem Prinzip dieser Immersionen Systeme von etwas größeren Ausmaßen, also derberer Ausführung konstruiert, die zwar in der Güte der mikroskopischen Abbildung den eigentlichen Immersionssystemen nicht gleichwertig sind, aber als Fernrohrobjektive von großer Apertur im Konoskop Ausgezeichnetes leisten. Mit den alten Konstruktionen dieser Art, den sogenannten α-Bromnaphtalin-Immersionen, ist nicht viel anzufangen, weil sie wegen eines zu kleinen freien Objektabstandes überhaupt keine brauchbaren mikroskopischen Bilder geben; mit einer Winkelschen Neukonstruktion, die als Achsenwinkel-Immersionssystem (Awi-System) eingeführt ist[1]), gelingt dies aber sehr gut.

[1]) E. A. Wülfing, Ein neues Polarisationsmikroskop usw. Abh. Heidelb. Akad. Wiss. 1918, 6. Abh., S. 45—50.

Ein solches System hat bei Verwendung von α-Bromnaphtalin als Immersionsflüssigkeit die numerische Apertur 1,52. Seine Äquivalentbrennweite mißt 3,7 mm, sein freier Objektabstand 0,39 mm; es ist allen andern zu konoskopischen Zwecken dienenden Systemen weit überlegen. Ein Trockensystem, das in seinen abbildenden Qualitäten ebenfalls nicht mit den richtigen Objektiven wetteifern kann, das aber wieder etwas kräftiger gebaut ist und daneben eine für solche Systeme hohe numerische Apertur 0,95 besitzt, hat E. Bertrand angegeben[1]).

Bei Anwendung der Immersionen muß man sich des in Fig. 325 S. 346 dargestellten Sachverhaltes erinnern, wonach in das Objektiv nur Strahlen eintreten können, die auch vom Beleuchtungsapparat aus in die Kristallplatte hineingeschickt werden. Für die schwachen Objektive genügt auch eine schwache Kondensorlinse zur Beleuchtung; für die stärkeren Systeme müssen weitere Linsen eingeschaltet werden, wie dies durch die mannigfachen in Paragraph 104 beschriebenen Kondensoren mit Wechselvorrichtungen geschieht. Zu der α-Bromnaphtalin-Immersion gehört also auch ein entsprechend starker Kondensor, der bei höchster Ausnützung durch α-Bromnaphtalin mit dem zwischen hoch brechenden Gläsern eingeschalteten Präparat verbunden wird.

162. Umwandlung des Mikroskops zum Konoskop. Wenn man den in Paragraph 159 erläuterten Fernrohrstrahlengang auf die Optik des Mikroskops sinngemäß bezieht, so wird man zu allererst das Interferenzbild in der Brennebene des Objektivs suchen. Dieses in Fig. 603 und 604 mit $J_2 N_2$ bezeichnete Bild möge das primäre Interferenzbild genannt werden. Es kann so lange nicht gesehen werden, als das Okular sich im Tubus befindet; denn dieses Okular ist ja nicht auf eine Bildebene in der Gegend des Objektivs, sondern in der Nähe des oberen Tubusrandes eingestellt. Man zieht daher, um jenes Interferenzbild in der Tiefe des Tubus zu erblicken, das Okular heraus und sieht — nach Einschaltung eines Analysators — mit bloßem Auge in den Tubus hinein. Diese Methode ist zuerst von A. v. Lasaulx beschrieben worden[2]). Um bei häufigem Wechsel zwischen mikroskopischer und konoskopischer Beobachtung die jedesmalige Entfernung des Okulars zu vermeiden, hat F. E. Wright unter dem Okular einen Schieber mit zwei totalreflektierenden Prismen angebracht, die nach Einschaltnng nur eine kleine seitliche Bewegung des Auges verlangen, um das Interferenzbild in der Tiefe des Tubus zu sehen[3]).

Zur Beobachtung des Interferenzbildes ist man keineswegs auf die Brennebene des Objektivs beschränkt, man kann ebensogut irgend eine

[1]) Bull. Soc. Min. Fr. **8.** 1885. 377—378.

[2]) N. J. 1878. 377—380. Diese v. Lasaulxsche Methode wird zuweilen mit der Kleinschen verwechselt, s. nächste Seite.

[3]) Am. Journ. **22.** 1906. 19—20. Ref. N. J. 1907. II. 3.

hierzu konjugierte Ebene wählen. Dazu läßt C. Klein[1]) das Mikroskop ganz unverändert und betrachtet das in Fig. 603 mit $J_3 N_3$ bezeichnete

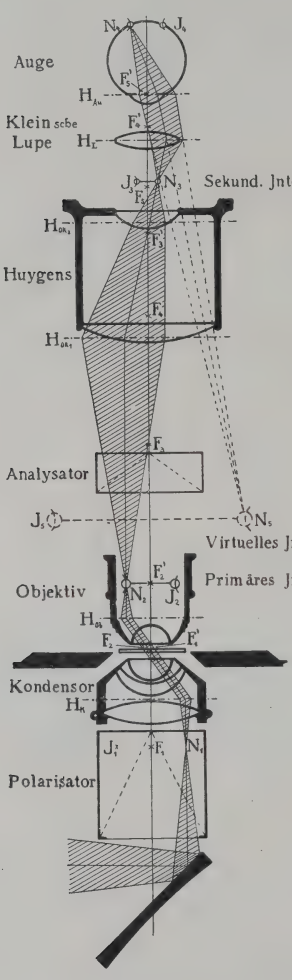


Fig. 603.

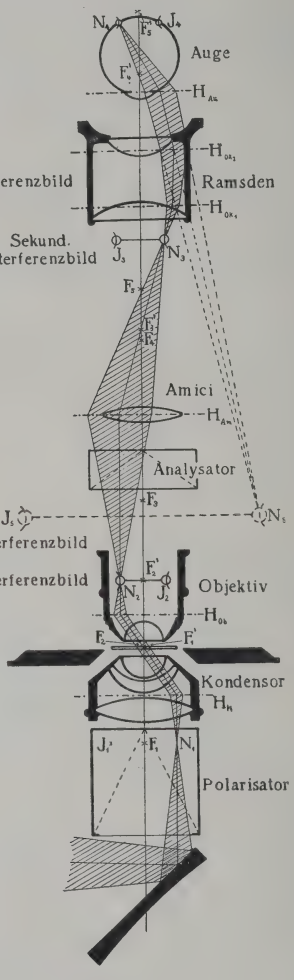


Fig. 604.

[1]) Nachr. K. Ges. Wiss. Gött. **14.** 1878. 451; ferner Festrede im Namen der Georg-Augusts-Universität zur Akademischen Preisverteilung am 4. Juni 1886, gehalten von C. Klein, S. 27; S. B. A. 1893. Anm. 4 und 226; E. v. Wolff hat in seinem Nekrolog Carl Klein (Zentralbl. f. Min. usw. 1907. 644) die Lasaulxsche, Kleinsche und Bertrandsche Methode nicht getrennt und die Priorität für C. Klein in Anspruch genommen. Jedenfalls hat A. v. Lasaulx seine Methode zuerst veröffentlicht, ohne daß man weiß, wie lange er sie schon vorher gekannt hat. Daher kann man nicht wohl, wie dies E. Cohen (Zusammenstellung petrogr. Untersuchungsmeth. 1884, S. 12, Fußnote 1) getan hat, von einer Klein-Lasaulxschen Methode reden und dieses umso weniger, als es sich um zwei verschiedene Methoden handelt.

konjugierte Interferenzbild, das man sekundäres Interferenzbild nennen kann. Zu seinem Erkennen darf man nun aber nicht in der üblichen Weise in das Mikroskop blicken, — dann läge ja dieses Bild unmittelbar am Auge — man muß vielmehr die nötige deutliche Sehweite oberhalb des Okulars einhalten oder sich einer Lupe bedienen. Dazu verwendet Klein ein zweites Huygenssches Okular (s. § 97, S. 311), das er umgekehrt auf das Okular des Mikroskops aufsetzt.

Bei der Lasaulxschen und bei der Kleinschen Methode beobachtet man mit sehr stark verkleinernden Fernrohren. Das Maß dieser Verkleinerung erhält man bei der Lasaulxschen Methode sehr einfach durch Division der Brennweite der Objektive in den Abstand des Auges vom primären Interferenzbild. Man beobachtet also bei den verschiedenen Trocken- und Immersionssystemen mit Fernrohren von 50 bis 125facher Verkleinerung, denn die Brennweiten der hier meistens gebrauchten Systeme liegen zwischen 5 und 2 mm und sind demnach 50 bis 125mal kleiner als die deutliche Sehweite. Bei der Kleinschen Methode arbeitet man mit bald noch stärkeren, bald auch geringeren, im ganzen aber doch ähnlichen Verkleinerungen. Das sekundäre Bild ist kleiner als das primäre, wird aber durch die Lupenwirkung des umgekehrten Okulars wieder vergrößert.

In vielen Fällen ist eine solche Verkleinerung ganz erwünscht, da infolge der Dünne der Kriställchen die Interferenzerscheinungen so verwaschen sind, daß sie nur bei starker Zusammenschrumpfung des ganzen Bildes einigermaßen gut unterscheidbare Einzelheiten erkennen lassen; in anderen Fällen aber ist eine Vergrößerung der Interferenzbilder von Vorteil, die man auf verschiedenen Wegen zu erreichen versucht hat. So verwenden H. Laspeyres und C. Leiß[1]) eine Linse, die sie in den Mikroskoptubus an Stelle des Okulars, aber tiefer als dieses, hineinsenken, und die von ihnen derart berechnet ist, daß sie als einfache Lupe wirkt, wie dies bei den Nörrenbergschen Polarisationsinstrumenten von alters her gebräuchlich ist. Für eine solche Anordnung liegen aber die Verhältnisse hier insofern nicht sehr günstig, als der durch die Lupe zu vergrößernde „Gegenstand", nämlich das Interferenzbild, sehr weit vom Auge entfernt liegt, und man daher keine starke Vergrößerung erzielen kann (s. Fig. 277 S. 308). Senkt man die Lupe etwa 7 cm tief von oben in den Tubus, wie das bei manchen Mikroskopen geschieht, so muß sie für ein normales Auge eine Brennweite von 470 mm haben, um eine etwa $1\,^1/_2$fache Vergrößerung des primären Interferenzbildes zu geben.

Sind dies die günstigsten Verhältnisse, oder läßt sich durch eine andere Lupe in einer im Mikroskop leicht anzubringenden anderen Stellung eine stärkere Vergrößerung erzielen? In den Figuren 276 und 277 auf S. 308 wurde gezeigt, daß bei einer Lupe von gegebener Brennweite die stärkste Vergrößerung durch Nahebringung der Lupe an das Auge er-

[1]) Z. X. **4.** 1880. 460. **25.** 1896. 380.

halten wird; hier aber ist nicht die Lupe, sondern der Abstand des Objekts vom Auge vorgeschrieben. Dieser Abstand, der nach den Buchstaben in den Figuren 276 und 277 gleich $A + d$ ist, möge als Konstante mit C bezeichnet werden; dann läßt sich die Formel (2) S. 306 für die Vergrößerung auch schreiben

$$V = \frac{D - d}{C - d},$$

wo D wie früher die deutliche Sehweite und d der Abstand der Linse vom Auge ist. Da C kleiner als D ist, so wächst der Ausdruck für V mit steigendem Wert für d. Bei diesen Verhältnissen kann man eine stärkere Vergrößerung erzielen, wenn man die Lupe vom Auge entfernt und dem zu vergrößernden Gegenstand nähert. Man tut also gut, diese Laspeyressche Lupe — die übrigens Laspeyres selbst als „Bertrandsche Linse" bezeichnet, was sie nicht ist — näher an das Objektiv als an das Auge zu legen, wie dies z. B. bei den Mikroskopen von Voigt und Hochgesang unter Benutzung des Spaltes i (Fig. 392, S. 392) geschieht. In das Fueßsche Mikroskop läßt sich in den unteren Spalt auch eine passende Linse mit Leichtigkeit einschalten. Der Abstand dieser Linse von dem durch Objektiv 7 entworfenen Interferenzbild mißt bei meinem Instrument 37 mm und von der Ebene der deutlichen Sehweite etwa 87 mm, sodaß $A = 37$ mm (s. Fig. 277, S. 308), $B = 87$ mm ist. Die Brennweite dieser Linse berechnet sich nach Formel (33) S. 280 zu 64 mm, und die damit zu erzielende Vergrößerung zu $2\,^1/_2$; allerdings übersieht man das ganze Interferenzbild nur bei Hin- und Herbewegung des Auges, da der Spalt etwas schmal ist und die Linse daher nicht hinreichend breit sein kann.

Genügt diese Vergrößerung nicht — und solche Fälle kommen bei stark doppelbrechenden Mineralien auch im Dünnschliff vor — so kann man an Stelle des Okulars 3 bei der Kleinschen Methode eine stärkere Lupe wählen oder einen im Prinzip nicht verschiedenen, historisch schon lange bekannten Weg zur Vergrößerung des primären Interferenzbildes einschlagen, den Amici in seinem schon 1830 konstruierten und 1844 beschriebenen Polarisationsapparat[1]) angegeben hat, und der von Em. Bertrand wieder beschritten wurde[2]). Der betreffende Strahlengang ist in Fig. 604 gezeichnet und unterscheidet sich nur dadurch von dem bei Klein, daß man das sekundäre Bild $N_3 J_3$ anstatt durch das Okular durch eine eigene, nach Amici oder nach Bertrand benannte Linse H_{Am} entstehen läßt. Hiernach wird in den Mikroskoptubus eine Linse so eingeschaltet, daß sie von dem in der Tiefe liegenden primären Interferenzbild ein sekundäres Bild oben in der Gegend des Tubusrandes entwirft, welch letzteres hier mit Lupen, Huygensschen oder Rams-

[1]) Ann. Chim. Phys. (3) **12.** 1844. 114. Pogg. Ann. **64.** 1845. 472.
[2]) Bull. Soc. Min. Fr. **1.** 1878. 27—28.

denschen Okularen mit oder ohne Fadenkreuz und Mikrometerskalen betrachtet und ausgemessen werden kann. Die Brennweite jener Linse darf höchstens den vierten Teil des Abstandes der Hauptebenen von Objektiv und Okular betragen. Erreicht sie genau diesen Wert, und steht die Linse in der Mitte zwischen Objektiv und Okular, so ist das sekundäre Interferenzbild umgekehrt aber gleich groß dem primären Interferenzbild.

Die Vorzüge, die das Amici-Bertrandsche Verfahren darbietet, haben alle Erbauer größerer Instrumente veranlaßt, dasselbe zu adoptieren. So findet man diese Linse mit Ein- und Ausschaltvorrichtungen an den größeren Mikroskopen von Fueß, Leiß, Leitz, Nachet, Reichert, Seibert, Swift, Winkel und Zeiß, wie dies in § 106 öfters erwähnt ist. Diese Linse bildet, in Verbindung mit einem in passender Entfernung montierten Ramsdenschen Mikrometerokular, ein Hilfsmikroskop von etwa fünffacher Vergrößerung, das durch einen Trieb gehoben und gesenkt und auf das primäre Interferenzbild scharf eingestellt werden kann. Mit jedem Objektiv ändert sich die Lage des primären Interferenzbildes und damit die Einstellung des Hilfsmikroskops.

Bei den Voigt und Hochgesangschen Mikroskopen (Fig. 388) und bei dem Wülfing-Winkelschen Mikroskop (Fig. 404) ist die Lage der Linse, wie schon oben S. 391 und 400 erwähnt, variabel sowohl gegen Objektiv wie gegen Okular, und damit die Vergrößerung des ganzen Konoskops, bei Anwendung der gleichen Linsen, veränderlich. Für bestimmte Stellungen der drei Tuben gegeneinander, die an Teilungen abgelesen werden können, ist die Vergrößerung ein für allemal bestimmt. E. Bertrand hat seine Linse auch verschiebbar eingerichtet[1]), aber Objektiv und Okular in ihrer Stellung fixiert. Er erhält hierdurch bei einer bestimmten Lage der Linse ein Fernrohr (Konoskop) und bei Senkung der Linse ein Mikroskop, er kann also allein durch Verschiebung der Linse Interferenzbild und Gegenstand nacheinander sehen. Ein solches Mikroskop hat aufgerichtete Bilder. Übrigens läßt sich diese Art der Beobachtung auch durch Hebung des Gesamttubus erreichen, nur sind die Bilder dann sehr schlecht[2]).

Die Lasaulxsche Anordnung (Objektiv und Auge) und die Laspeyressche Anordnung (Objektiv, Lupe und Auge) läßt sich im Strahlengang mit einem astronomischen Fernrohr, die Anordnungen nach Amici-Bertrand (Objektiv, Linse, Okular und Auge) und nach Klein (Objektiv, Okular, Lupe und Auge) lassen sich mit einem terrestrischen Fernrohr vergleichen. Die ersteren stellen die Bilder der Gegenstände auf den Kopf, die letzteren zeigen sie in der richtigen Lage. Aber die primären Interferenzbilder haben schon in bezug auf die einfallenden konvergenten Strahlenbündel gleichsam eine Umkehrung erfahren; daher sieht man bei der v. Lasaulx und Laspeyresschen Methode die Interferenzbilder in

[1]) Bull. Soc. Min. Fr. **1.** 1878. 97; **3.** 1880. 98.
[2]) s. C. Klein, S. B. A. 1893. 224.

der richtigen, bei der Amici-Bertrand und Kleinschen Methode in der umgekehrten Lage. Die außergewöhnlich kurze Brennweite der Konoskop-Objektive läßt die ganzen Linsenkombinationen bei veränderter Objektdistanz auch als Vergrößerungsinstrumente benutzen, wobei sie teils wie Lupen, teils wie zusammengesetzte Mikroskope — zuweilen mit dem bloßen Auge als Okular — wirken. Die Lage der auf diese Weise zu erhaltenden, wenn auch meist schlechten Bilder, und die Lage der Interferenzbilder ist aus folgender Tabelle zu ersehen[1]).

Untersuchungsmethode	Lage des mikroskopischen Bildes gegen das Objekt			Lage des Interferenzbildes gegen das Objekt
	Tubus bei mikroskop. Einstellung	Tubus gehoben	Tubus gesenkt[2])	
Gewöhnliches Mikroskop . .	umgekehrt	—	—	—
v. Lasaulx	—	umgekehrt	aufrecht	aufrecht
Laspeyres (Nörrenberg)	—	umgekehrt	aufrecht	aufrecht
Amici-Bertrand	—	aufrecht	umgekehrt	umgekehrt
Klein	—	aufrecht	umgekehrt	umgekehrt
Schroeder v. d. Kolk[3]) .	—	—	—	aufrecht

163. Die Vorzüge des aus dem Mikroskop hervorgehenden Konoskops bestehen gegenüber den Nörrenbergschen Polarisationsinstrumenten und anderen Apparaten dieser Art in der Beobachtungsmöglichkeit der Interferenzfiguren noch an außerordentlich kleinen und dünnen Blättchen, und in dem mit wenigen Handgriffen ausführbaren Übergang aus der Beobachtung im konvergenten Licht zu der im parallelen Licht. Vor allem aber ist man in der Lage, genau anzugeben, von welchem Punkt des Dünnschliffs das beobachtete Interferenzbild herrührt. Die Beobachtung ist auch bei kleinen Präparaten unmittelbar, also ohne Abblendung, auszuführen, da wegen der kleinen objektiven Sehfelder der starken Objektive nur sehr kleine Teile der untersuchten Platte Licht in diese Linsen senden können. Werden aber diese Präparate oder diese Stellen im Dünnschliff so klein, daß sie nur einen Teil des Sehfeldes ausfüllen, so erfahren die Interferenzbilder bei exzentrischer Lage des Auges leicht eine Störung. Bei dem v. Lasaulxschen Verfahren wendet man dann am einfachsten ein Diaphragma von 1—2 mm Öffnung an, das man auf den oberen Tubusrand legt. Das Objekt muß sorfältigst zentriert sein. Bei dem Verfahren nach Amici-Bertrand benutzt man das von S. Czapski angegebene[4]) Okular mit Irisblende, wie es in Fig. 605 dargestellt ist und oben in Paragraph 103, S. 364 schon einmal abgebildet und in

[1]) Vergl. auch C. Klein, S. B. A. 1893. 227.

[2]) Falls die Frontlinse des Objektivs eine genügende Senkung, d. h. eine genügende Annäherung des Objekts an die Hauptebenen des Objektivs erlaubt.

[3]) S. den nächsten §.

[4]) Z. X. **22.** 1894. 158—162.

Fig. 334 wegen seiner Optik als Ramsdensches Okular bezeichnet wurde. Diese Irisblende *i* liegt in der Bildebene des Ramsdenschen Okulars, in der bei Anwendung des Instrumentes als Mikroskop das Bild des Objekts sich befindet, das durch Einschnürung der Blende von aller Umgebung isoliert werden kann. Da aber sehr kleine Kristalle meistens leistenförmig sind oder doch nur höchst selten ungefähre Kreisform besitzen, geht durch eine solche kreisförmige Blende Czapskischer Art viel von der erreichbaren Lichtstärke der Interferenzerscheinung verloren. Daher hat E. Sommerfeldt[1]) eine Spaltblende konstruiert, deren Idee später von F. E. Wright[2]) wieder aufgenommen wurde, und welche die in Fig. 606 abgebildete Ausführung durch R. Fueß erfahren hat. Man

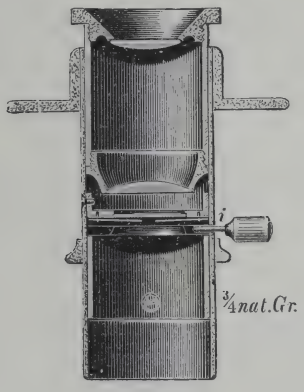


Fig. 605.
Czapskisches Okular
von R. Fueß.

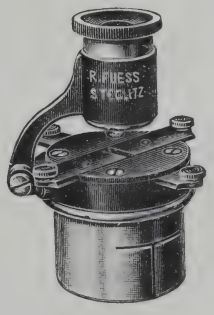


Fig. 606.
Sommerfeldtsche (Wrightsche) Spaltblende
von R. Fueß.

kann sich hier durch zwei Schieberpaare der Form des kleinen Kristallquerschnittes anpassen und die Zweckmäßigkeit bei jenen Mikroskopen erkennen, wo das Präparat in Ruhe bleibt und die Nicolschen Prismen gedreht werden.

Für außerordentlich kleine Objekte hat J. L. C. Schroeder v. d. Kolk ein sehr einfaches und hübsches Verfahren angegeben[3]). Er bringt auf das Deckglas des Dünnschliffs oder besser direkt auf das Präparat ein Tröpfchen Glyzerin, das er mit einem Stäbchen schnell umrührt, sodaß ganz kleine Luftbläschen darin entstehen. Nach Auflegung eines Deckglases stellt man das Mikroskop auf die Libellen ein und senkt den Tubus noch ein wenig, worauf in jeder Libelle ein Interferenzbild erscheint, das dem optischen Verhalten des darunter liegenden Mediums entspricht. Die kleinen Luftblasen stellen konkave Linsen von sehr kurzer Brennweite

[1]) Z. f. wiss. Mikrosk. **22.** 1905. 361—362.
[2]) Am. Journ. **29.** 1910. 412; Publication Carnegie Inst. Wash. Nr. 158. 1911. Taf. I.
[3]) Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie. **8.** 1892. 459—461. E. Bertrand hat die Erscheinung schon gekannt. Bull. Soc. Min. Fr. **3.** 1880. 95—96.

und großer Apertur dar und vertreten das Objektiv bei dem Amici-Bertrandschen Verfahren. Das ganze Mikroskop tritt an Stelle des aus Amicischer Linse und Okular bestehenden Hilfsmikroskops. Die Lage der Interferenzbilder ist dennoch nicht die gleiche, wie bei diesem letzteren Verfahren, sondern man sieht diese Interferenzbilder aufrecht in bezug auf das Objekt, weil die kleinen Luftblasen keine Sammel- sondern Zerstreuungslinsen darstellen. Aus diesem Grunde muß man auch, von der Einstellung der Libelle aus gerechnet, den Tubus senken, um die Erscheinung wahrzunehmen. A. Johannsen[1]) nimmt an Stelle der Luftbläschen winzige Glaskügelchen von nur 0,2 mm Durchmesser, die er aus feinen Glasfäden herstellt.

Die größeren Aperturen der Konoskope lassen selbst bei dünnen Präparaten oft die in den Paragraphen 60—62 erörterten Dispersionserscheinungen deutlich wahrnehmen und daraus auf das Kristallsystem schließen. Über Achsendispersionsarten und ihre Bestimmung, wie sie an dickeren Schliffen beobachtet werden können, hat auch E. v. Fedorow[2]) sich geäußert.

164. Messungen mittelst des Konoskops. Das Zustandekommen der Interferenzbilder erklärt sich aus den Figuren 115 S. 161, 124 S. 171, 596 S. 612 und der Figur 608 auf S. 628. Der Querschnitt durch die Bertinschen Flächen ist, wie schon in Paragraph 52 umständlich abgeleitet wurde, den Intensitäten an der Oberfläche einer doppelbrechenden Platte vergleichbar. Wenn nun auch diese Oberfläche in den Konoskopen nicht gesehen wird, so erfahren diese Intensitätsverhältnisse doch eine experimentelle Wiedergabe in der Brennfläche der Objektive. Es ist von Interesse zu erfahren, wie weit eine solche Wiedergabe den Querschnittsfiguren durch die Bertinschen Flächen entspricht.

Die Intensitätsverteilungen an der Oberfläche einer Platte sind außer von der Doppelbrechung von der Dicke og_1 (in Fig. 124) und von der Neigung $V = \sphericalangle g_1 o f_1$ abhängig. Es ist

$$g_1 f_1 = o g_1 . \operatorname{tg} V.$$

Für kleine Aperturen kann man die Tangente durch den Sinus ersetzen und schreiben

$$\sin V = \frac{g_1 f_1}{o g_1}$$

oder auch, wenn man den Übergang der Wellennormalen aus der Platte in Luft unter dem Einfluß eines Brechungsindex β berücksichtigt, setzen

$$\sin E = \beta \frac{g_1 f_1}{o g_1} . \qquad (1)$$

[1]) Journ. Geol. **21.** 1913. 96—98. Ref. N. J. 1913. II. 356.
[2]) Z. X. **37.** 1903. 143—150.

Die Lage eines Strahles, der unter dem Winkel E gegen die Fernrohrachse $H_1 H_2 g g_1$ geneigt ist, stellt sich in dem Objektivteil des Fernrohrs so dar, wie dies Fig. 608 zeigt. Das Objektiv ist hier schematisch durch seine beiden Hauptebenen $H_1 H_2$ dargestellt. Nun wird, nach Satz I S. 259 und nach sinngemäßer Anwendung auf dicke Linsen, jeder durch den Hauptpunkt H_1 gehende Strahl ungebrochen und nur parallel verschoben durch H_2 weitergeleitet (s. auch Fig. 251, S. 279), daher liefert der austretende Strahl $H_2 f$ in Fig. 608 in seinem Schnittpunkt f mit der Brennfläche den Bildpunkt für das Bündel, das unter dem Winkel E einfällt. Es ist nun hier

$$\sin \mathrm{E} = \frac{\mathrm{g\,f}}{\mathrm{F}}, \tag{2}$$

wo F die Äquivalentbrennweite des Objektivs bedeutet.

Aus (1) und (2) folgt

$$\mathrm{g\,f} = \mathrm{F} \,.\, \beta \,.\, \frac{\mathrm{g_1\,f_1}}{\mathrm{o\,g_1}}.$$

Hier sind F, β und die Dicke $o g_1$ Konstante, deren Quotient $\mathrm{F} \,.\, \beta / \mathrm{o\,g_1}$ mit K bezeichnet werden möge. Dann ist nach den Bezeichnungen der Figur 124

$$\mathrm{g\,f} = \mathrm{K} \,.\, \mathrm{g_1 f_1}.$$

Man sieht also, daß die Lichtintensitäten in der Brennfläche des Objektivs ähnlich den Querschnittsfiguren der Bertinschen Flächen sind. Das Auge beobachtet diese Intensitäten in einer Entfernung, die man gegenüber der Aquivalentbrennweite des Objektivs als erheblich bezeichnen darf; so erscheinen die Interferenzerscheinungen in einem Konoskop wie jene Bertinschen Querschnittsfiguren in orthogonaler Projektion. Hierauf hat E. Mallard[1]) zuerst aufmerksam gemacht.

Will man an einem solchen Inferenzbild Messungen vornehmen, so kann man zunächst auf den Gedanken kommen, dies in ähnlicher Weise durch Drehung des Kristalls zu bewirken, wie das nach Paragraph 160 mit dem Achsenwinkelapparat geschieht. Es wären auch die in Paragraph 117 und 118 beschriebenen Drehapparate zu verwenden, wenn nur bei dem Gebrauch der starken Objektive die Präparate nicht zu nahe an den Frontlinsen lägen und dadurch eine etwas erheblichere Drehung unmöglich machten. Nach Bertrand (Bull. Soc. Min. Fr. **8.** 1885. 380—383) kann man auch Präparat und Objektiv in fester Lage zueinander behalten und den oberen Teil des Mikroskops mit der Amici-Bertrandschen Linse + Okular zur Neigung nach rechts und links einrichten; es handelt sich offenbar um eine Variante des Adamsschen Verfahrens (s. § 117, S. 459, Fußnote 2).

Man kann aber auch die Messungen auf ganz andere Weise und zwar linear am Interferenzbild ausführen und aus den so gefundenen

[1]) Bull. Soc. Min. Fr. **5.** 1882. 77—87.

Werten zu den Winkeln E oder V gelangen. Die Ebenen, die sich hierzu darbieten, sind $J_1 N_1$ oder ihre konjugierten $J_2 N_2$ oder $J_3 N_3$ (Figuren 603 und 604). Bei der Lasaulxschen Beobachtungsmethode legt H. Lenk[1]) ein mit Teilung versehenes Glastäfelchen in die Ebene $J_2 N_2$. Bei manchen Objektiven, wie bei Nr. 7 von Hartnack-Fueß (Äquiv. Brennweite 5,2 mm) muß dieses Glasscheibchen zwischen die oberste und die beiden unteren Linsen gebracht werden, weil hier die obere Brennebene des Systems liegt; bei dem Zeißschen Objektiv $D\,D$ von ungefähr der gleichen Äquivalentbrennweite (4,3 mm) ist die Scheibe über der obersten

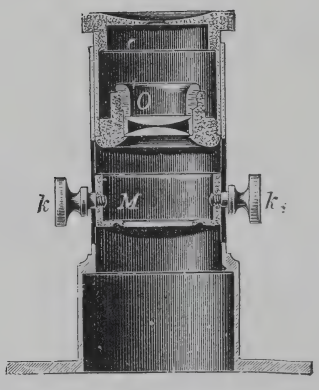


Fig. 607.
Kleinsche Lupe von R. Fueß.

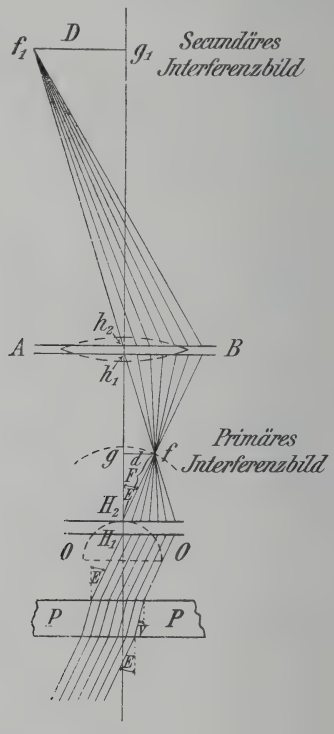


Fig. 608.

Linse einzusetzen. E. Sommerfeldt[2]) legt die Skala nicht in das Objektiv bei $J_2 N_2$ in Figur 603 oder 604, sondern in den Kondensor bei $J_1 N_1$ und stellt dann auf das Bild dieser Skala, wie es in der Brennfläche des Objektivs entsteht, ein. S. Reinheimer[3]) gibt der Skala an dieser Stelle eine ringförmige Gestalt.

Die Kleinsche Methode gestattet eine solche lineare Ausmessung in der Ebene $J_3 N_3$ der Figur 603, wenn man die S. 622 erwähnte Lupe

[1]) Z. X. **25.** 1896. 379—380.
[2]) Z. f. wiss. Mikrosk. **22.** 1905. 356—362.
[3]) Zentralbl. f. Min. usw. 1921. 406—411.

mit einer Mikrometerskala versieht, wie dies F. Becke vorgeschlagen hat[1]). Er nennt diese in Fig. 607 in der Fueßschen Ausführung abgebildete Vorrichtung, wo O die Lupe und M die Mikrometerskala vorstellt, die Kleinsche Lupe.

Die genauesten Resultate erhält man wohl, wenn man nach E. Mallards[2]) Vorschlag die Amici-Bertrandsche Methode anwendet und den Faden eines Okularschraubenmikrometers nacheinander mit den beiden Punkten — etwa mit den Hyperbelscheiteln eines zweiachsigen Inferenzbildes — zur Deckung bringt und die durchlaufene Strecke des Okularfadens, die $= 2D$ sein möge, abliest. Vorbedingung für diese Messung ist möglichste Schärfe und Deutlichkeit des Interferenzbildes, d. h. Einstellung des sekundären Interferenzbildes in die Ebene des beweglichen Okularfadens, also in die Ebene $J_3 N_3$ der Fig. 604. Bei den Schraubenmikrometern werden die Ramsdenschen Okulare, bei den festen Mikrometern die Huygensschen Okulare vorgezogen (s. auch § 103, S. 363 und § 111, S. 436).

Eine unparallaktische oder scharfe Einstellung, die durch Bewegung der Amici-Bertrandschen Linse erreicht wird, ist für zentrale und peripherische Punkte wegen der gewölbten Form der Bilder nicht gleichzeitig möglich. Es sei nun PP ein Präparat (Fig. 608), das bei Durchstrahlung in geneigter Richtung gewisse im Konoskop erkennbare Erscheinungen zeigt, und es soll der Winkel E, der für irgend eine dieser Erscheinungen charakteristisch ist, bestimmt werden.

Aus dem Abstand $gf = d$ läßt sich der Winkel E leicht finden, denn da hier $H_2 f = F$ die Äquivalentbrennweite des Objektivs vorstellt, so ist, wie schon S. 627 erörtert wurde,

$$\sin \mathrm{E} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{F}}. \tag{1}$$

Nun messen wir aber hier nicht die Strecke d, sondern ihr durch die Amici-Bertrandsche Linse AB entworfenes Bild $g_1 f_1 = D$, das bei einer bestimmten Linse in konstantem Verhältnis zu d steht. D sei m mal größer als d, dann ist auch

$$\sin \mathrm{E} = \frac{\mathrm{D}}{\mathrm{m\,F}}. \tag{2}$$

Durch Messung der Äquivalentbrennweite des Objektivs findet man F und durch Ermittlung der Stellung der Amicischen Linse und ihrer Brennweite erhält man auch m, sodaß aus einer in Millimetern gemessenen Strecke D der Winkel E zu berechnen ist. Da nun für eine bestimmte Apparatur die Größen m und F konstant sind, so kann man auch ihr Produkt als konstant bezeichnen, wofür man den Ausdruck der

[1]) T. M. P. M. **14.** 1895. 375.
[2]) Bull. Soc. Min. Fr. **5.** 1882. 77—87.

Mallardschen Konstante K eingeführt hat. Alsdann lautet die vorige Formel

$$\sin E = \frac{D}{K}. \tag{3}$$

Diese Formel ist so lange für verschiedene Werte E gültig, als man die Mallardsche Konstante für eine wirkliche Konstante ansehen will, was aber besonders bei größeren Aperturen nur für ziemlich rohe Annäherung gestattet ist. Man muß bedenken, daß die Objektive wohl selten eine solche ideal-sphärische Brennfläche besitzen, wie sie in Fig. 608, S. 628 bei f zur Ableitung der Mallardschen Formel angenommen wurde, und daß besonders bei größeren Aperturen die Abweichung von dieser Form recht bedeutend werden kann.

Zunächst hat ein solches Objektiv nicht eine, sondern zwei Brennflächen, die sich im höchsten Punkt (über g in Fig. 608) berühren, im übrigen aber ganz getrennt liegen können. Von der hiermit in Zusammenhang stehenden astigmatischen Beschaffenheit der Bilder kann man sich leicht überzeugen, wenn man versucht, ein verschiebbares Fadenkreuz auf einen sehr exzentrisch liegenden Teil des sekundären Interferenzbildes ohne parallaktischen Fehler einzustellen; es gelingt für den einen oder den andern Faden, aber nicht für beide zugleich. Bei der Messung wird man sich darauf beschränken müssen, den durch die Mikrometerschraube beweglichen Faden (nicht den dazu senkrecht stehenden) möglichst parallaxenlos einzustellen. Die Brennflächen können sehr mannigfaltig gestaltet sein. In den Figuren 609, 610 und 611 sind Querschnitte von einigen Brennflächen in etwa 9facher Vergrößerung abgebildet[1]). Die stark ausgezogenen Kurven, die mit „Brennfläche“ bezeichnet sind, geben deren Form nicht mit allen Einzelheiten wieder. Wie viel die Abweichungen von der Wirklichkeit betragen, hat sich bis jetzt bei den schwierigen Messungen nicht sicher entscheiden lassen. Indessen darf man doch vermuten, daß es sich um schwach wellenförmige Aus- und Einbuchtungen handelt, wie denn auch S. Czapski[2]) eine dahingehende Äußerung veröffentlicht hat. Nur war man bisher wohl der Ansicht, daß sich diese Deformationen alle auf einer mehr oder weniger sphärischen Fläche abspielten, während man jetzt sieht, daß die Flächen alle viel stärker als die zugehörigen Kugeln gekrümmt sind. Demnach kann die sogenannte Mallardsche Konstante K mit steigender Apertur bald zunehmen, bald abnehmen. Das hängt nicht von der Höhe

[1]) Einzelheiten finden sich bei E. A. Wülfing, Ein neues Polarisationsmikroskop usw. in dem Abschnitt „Mallardsche Konstante und Form der Brennfläche starker Objektive“. Abh. Heidelberg. Akad. Wiss. 1918. 6. Abh., S. 57—70. Hier ist auch den Einwänden begegnet, die von F. Becke, F. E. Wright, M. Stark, H. Michel und E. Dittler gegenüber der Auffassung in der 4. Auflage dieser Physiographie S. 330 gemacht wurden. Nach dieser Auffassung gilt die Konstanz der Mallardschen Konstanten nur in dem Maße, wie dies auch hier wieder ausgeführt ist.

[2]) N. J. B. B. **7.** 1891. 508.

der Brennflächen, sondern von dem Verhältnis der Dimensionen d zu den numerischen Aperturen U ab, wo dann U in unserer kristalloptischen Sprache durch $\sin E$ oder $\beta \cdot \sin V$ ersetzt wird, sodaß in Bezug auf das primäre Interferenzbild in der Mallardschen Formel (1) auf S. 629 F die Äquivalentbrennweite des betreffenden Objektivs bedeutet und dann ausgedrückt werden kann durch

$$F = \frac{d}{U} \text{ oder } F = \frac{d}{\sin E} \text{ oder } F = \frac{d}{\beta \sin V} .$$

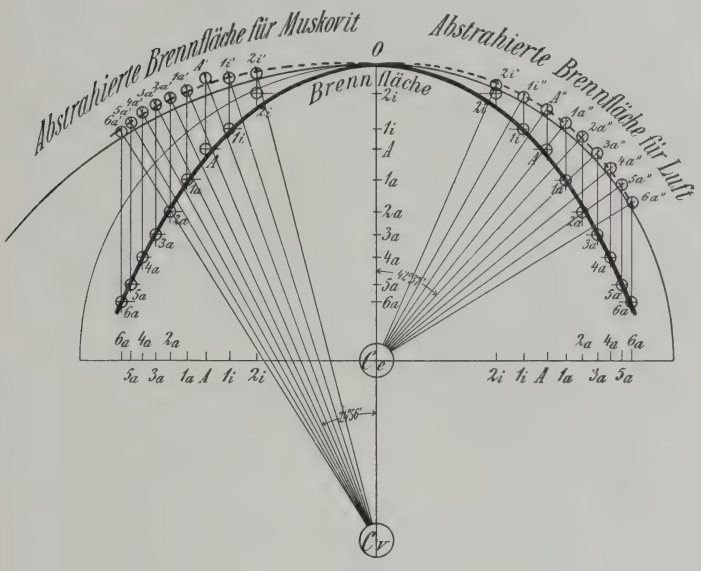


Fig. 609.

Wenn man mit F. Becke[1]) sagt, daß die Brennfläche bei manchen Systemen sich nach außen hin weniger (s. besonders Fig. 610), bei andern Systemen stärker wölbt (s. Fig. 611, wenn auch nur schwach) als die Kugel, so muß man dies nicht auf die wirklichen, sondern auf andere Brennflächen beziehen, die man als abstrahierte Brennflächen bezeichnen und auf folgende Weise erhalten kann. Der Querschnitt der wirklichen Brennfläche des Trockensystems Fueß Nr. 7 ist in Fig. 609 in der Kurve *2i, 1i, A, 1a, 2a, 3a, 4a, 5a, 6a* dargestellt. Hieraus kann man nun zwei abstrahierte Brennflächen ableiten, von denen die eine sich auf Winkel in Luft und die andere auf Winkel in Glimmer (wegen des angewandten Glimmerapertometers) bezieht. Bei dem Trockensystem Nr. 7 könnte man sich allerdings auf die Wiedergabe der abstrahierten

[1]) T. M. P. M. **26.** 1907. 510.

Brennfläche in Luft beschränken, weil hier alle Punkte zur Darstellung kommen; bei den Immersionssystemen, mit den Aperturen $U > 1$ ist man aber gezwungen, auf die andern Flächen einzugehen, daher möge dies auch schon bei dem Trockensystem geschehen.

Man konstruiere die Punkte *Ce* und *Cv* von denen der erstere im Abstand der Äquivalentbrennweite unter dem höchsten Punkt *0* (Null) des Interferenzbildes, und der letztere β mal tiefer liegt, wo β der mittlere Brechungsindex des Glimmers ist.

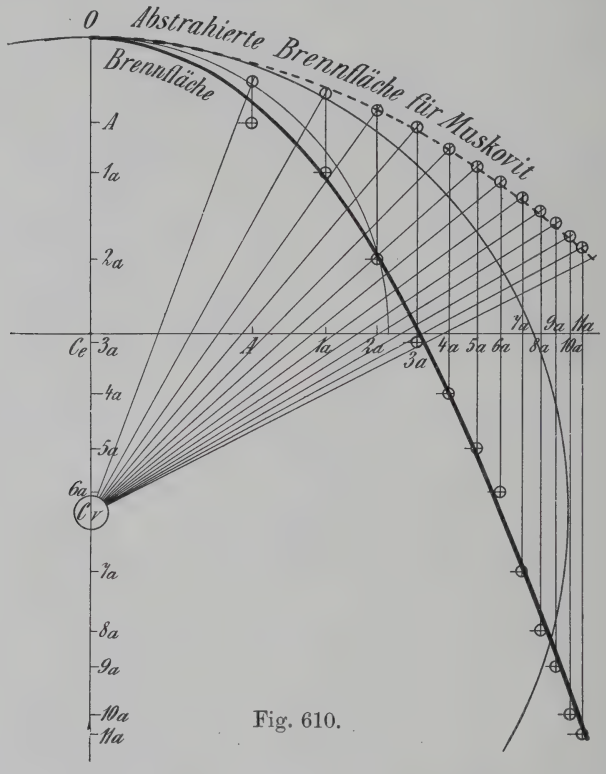


Fig. 610.

Um nun einen Punkt der abstrahierten Brennfläche für Luft oder für Glimmer aus dem zugehörigen Punkt der wirklichen Brennfläche zu erhalten, z. B. die Punkte *2a″* und *2a′* aus den Punkten *2a*, ziehe man von den Zentren *Ce* und *Cv* die Radien unter den zugehörigen Winkeln, in diesem Fall z. B. für den zweiten äußeren Lemniskatenscheitel unter $E = 42°37'$ und unter $V = 24°56'$ gegen die Mittellinie[1]). Auf diesen

[1]) Diese Winkel E und V sind die Winkel der Lemniskatenscheitel in Luft und in Glimmer gegen die Plattennormale des Glimmers unter Vernachlässigung der Abweichungen infolge der monoklinen Symmetrie des Glimmers, Abweichungen, die übrigens sehr gering sind, da es sich bei Muskovit um normalsymmetrische Achsenlage handelt.

Radien *Ce 2a″* auf der rechten und *Cv 2a′* auf der linken Bildseite der Fig. 609 liegen die Punkte *2a″* und *2a′* in der gleichen Entfernung *d* von der Mittellinie, wie die zugehörigen Punkte *2a*. Ähnlich verfährt man mit den andern Punkten und erhält auf diese Weise für das Objektiv Fueß Nr. 7 die beiden abstrahierten Brennflächen

für Luft in den Punkten *2i″, 1i″, A″, 1a″, 2a″, 3a″, 4a″, 5a″, 6a″,*

„ Glimmer „ „ „ *2i′, 1i′, A′, 1a′, 2a′, 3a′, 4a′, 5a′, 6a′.*

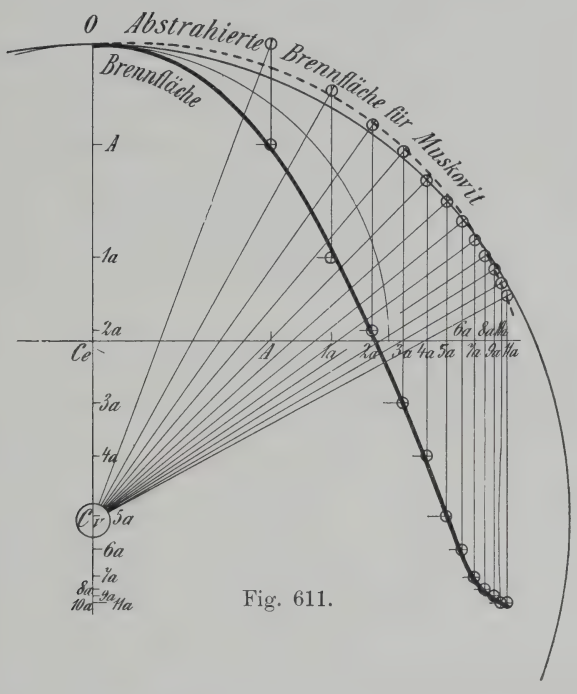


Fig. 611.

Hier fallen diese abstrahierten Brennflächen sehr nahe mit den idealen, also sphärisch gedachten Brennflächen zusammen. Sie entfernen sich anfangs und nähern sich nachher wieder den Kugeln, bleiben aber überhaupt in ihrer Nähe.

Bei den andern beiden in ihren Brennflächen abgebildeten Objektiven, dem bereits besprochenen Awi-System von 1917 und einer neueren Konstruktion von 1918, ist die abstrahierte Brennfläche nur für die Winkel in Glimmer, aber nicht mehr für solche in Luft durchkonstruiert worden. Bei dem Awi-System 1917 (Fig. 610) erscheint der Anfang der abstrahierten Brennfläche etwas unklar, jedenfalls aber ohne erhebliche Abweichung von der idealen Hemisphäre. Von Lemniskate *1a* ab (U = 0,780) verläuft sie jedoch in immer zunehmendem Abstand von der Halbkugel und trennt sich schließlich beträchtlich von ihr. Hier

läßt sich also die Konstruktion mit der sphärischen Brennfläche für sehr große Aperturen überhaupt nicht mehr durchführen, und die Mallardsche Sinusformel kann zu den fehlerhaftesten Bestimmungen führen.

Bei dem in Fig. 611 abgebildeten Awi-System 1918 ist ein Verlauf dieser abstrahierten Brennfläche wahrzunehmen, der sich den Verhältnissen in Fig. 609 nähert. Die Fläche liegt zuerst außerhalb der Halbkugel, schneidet sie in der Gegend der fünften Lemniskate, wo bei dem angewandten Glimmerapertometer[1]) die numerische Apertur 1,193 war, und verläuft dann innerhalb der Halbkugel, ohne sich von dieser erheblich zu entfernen. Da man nun die Brennflächeneigenschaften seines Objektives nicht kennt, muß man die Mallardsche Konstante —, wenn man sie noch so bezeichnen will — nach dem Verfahren, wie es auf S. 629—630 angegeben ist, für verschiedene Aperturen empirisch bestimmen und ihre Werte für Zwischenlagen durch Interpolation ermitteln. Wie groß die Fehler andernfalls werden können, zeigen die folgenden Bestimmungen, die mit einem System von hoher Apertur ausgeführt wurden.

	U $= n \sin H$, bei Kalkspat $= \omega \sin \nu$[2])	H beobachtet oder als beobachtet angenommen	D Zentralabstand im Okular	K Mallardsche Konstante $K = \frac{D}{\sin H}$	H′ berechnet nach Formel $\sin H' = \frac{D}{1{,}705}$
Aragonit	0,267	11° 33′	0,325	1,623	10° 59′
1. Muskovit	0,557	24° 43′	0,700	1,674	24° 14′
2. Topas . .	0,840	39° 5′	1.075	1,705	(39° 5°)
3. ——— .	1,021	50° 0′	1,333	1,740	51° 26′
Kalkspat	1,164	60° 51°	1,590	1,821	68° 50′

H in dieser Tabelle ist der in Wasser mit dem Achsenwinkelapparat gemessene halbe Achsenwinkel einiger Mineralien und bei Kalkspat der Austrittswinkel der optischen Achse auf der Spaltfläche, ebenfalls in Wasser. *D* ist der Zentralabstand der betreffenden Achse in der Okularskala, also im sekundären Interferenzbild. *K* ist die aus *H* und *D* nach der Formel

$$K = \frac{D}{\sin H}$$

berechnete Mallardsche Konstante für verschiedene Aperturen. Für den hier als gemessen angenommenen Winkel von 50° wurden die zu-

[1]) Es liegt diesen Messungen ein anderes Glimmerapertometer zugrunde, als das in der Tabelle auf S. 357 in seinen Grundmaßen mitgeteilte.

[2]) ν hat die Bedeutung, wie in Fig. 58, S. 88, stellt also die Neigung der Kalkspatspaltfläche gegen die optische Achse dar.

gehörigen Werte für D und K auf graphischem Wege aus den andern H-, D- und K-Werten ermittelt. Schließlich stehen unter H' die Winkel, die sich aus der Konstante K für Topas, also aus K = 1,705 und den zugehörigen D-Werten berechnen. Man sieht, daß es sich bei Winkeln bis zu 39°5′ in Wasser oder bis zu 2 E = 114°22′ in Luft um Abweichungen von höchstens $^1/_2{}^0$ handelt, daß bei Winkeln bis zu 50° in Wasser diese Abweichungen auf etwa $1^1/_2{}^0$ steigen, und daß sie erst bei größeren Aperturen erheblicher werden. Eine genaue Auswertung der Okularskala geschieht am sichersten mit einem Glimmerapertometer, wie es S. 356 ff. beschrieben ist. Die Verwendung des Abbeschen Apertometers für diese Zwecke, wie dies S. Flett vorgeschlagen hat (s. bei F. E. Wright, Am. Journ. **31.** 1911. 208, Fußnote 1) ist nicht so gut, weil das Signal sich dort wegen der geringen Entfernung vom Objektiv nicht parallaxenlos einstellen läßt.

Aus den Betrachtungen der letzten Seiten wird man beurteilen können, wie weit der Vorschlag von M. Schwarzmann[1]) Anwendung finden darf, wonach man die Ermittlung des Winkels E in der Mallardschen Formel sin E = D/K mit Hilfe eines logarithmischen Rechenschiebers vornimmt.

Am schnellsten und sichersten werden auf graphischem Wege die am Okularmikrometer abgelesenen linearen Werte in Winkelwerte umgewandelt, wenn man Kurven konstruiert, die als Abszissen die ersteren, als Ordinaten die letzteren Größen besitzen. Für die Achsenwinkel in Luft, Wasser usw. sind besondere Kurven zu zeichnen, bei denen die Sinusse der Ordinaten im umgekehrten Verhältnis der Indizes der zugehörigen Medien stehen.

Bei Achsenwinkeln, die größer sind als die Apertur des angewandten Objektivs, kann man durch folgende Überlegungen von A. Michel-Lévy[2]) zu einem zwar nicht genauen, aber doch immerhin angenäherten Wert des scheinbaren Achsenwinkels 2E gelangen. Geht man von der Kreuzstellung eines Achsenbildes aus, wobei die eine Achse im Norden außerhalb des Gesichtsfeldes liegen möge, und dreht alsdann im Sinne des Uhrzeigers den Kristall um den Winkel φ (bis höchstens 45°), so wandert die im Punkt A austretende Achse auf einem Kreis und liegt gleichzeitig auf einer Hyperbel, die zwischen den beiden Nicolhauptschnitten sich so darstellt, wie dies Fig. 612 angibt. Man dreht nun das Präparat so lange, bis der Scheitel S dieser Hyperbel am Rande des Gesichtsfeldes im Abstand D vom Zentrum liegt. Die Gleichung dieser gleichseitigen Hyperbel, bezogen auf die Asymptoten, lautet dann

$$x \cdot y = \frac{D^2}{2}, \qquad (1)$$

[1]) N. J. 1896. I. 52—56.

[2]) A. Michel-Lévy und A. Lacroix, Les minéraux des roches. 1888. 94.

wo D die in Fig. 612 eingezeichnete Bedeutung hat. Ferner ist nach dieser Figur

$$x = \triangle \cdot \sin \varphi \quad , \quad y = \triangle \cdot \cos \varphi \quad . \qquad (2)\ (3)$$

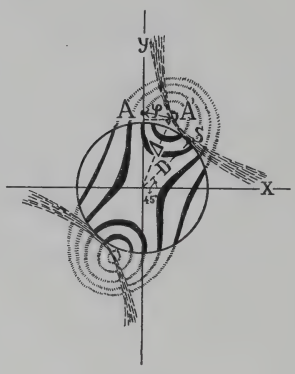


Fig. 612.

Aus (1), (2) und (3) folgt

$$\triangle = \frac{D}{\sqrt{\sin 2\varphi}} \cdot \qquad (4)$$

Nach Gleichung (3) auf S. 630 ist diesmal

$$D = K \cdot \sin E' \qquad (5)$$

und

$$\triangle = K \cdot \sin E, \qquad (6)$$

wo $\sin E' = U =$ numerische Apertur des angewandten Systems ist. Aus (4), (5) und (6) folgt

$$\sin E = \frac{\sin E'}{\sqrt{\sin 2\varphi}} = \frac{U}{\sqrt{\sin 2\varphi}} . \qquad (7)$$

Die Methode führt wegen der Verwaschenheit der Hyperbeln, die außerhalb der Austrittspunkte der optischen Achsen besonders groß ist, selten zu brauchbaren Resultaten.

165. Die Beckesche Methode. Die Messungen der Achsenwinkel, wie sie im vorangehenden Paragraphen besprochen wurden, gehen immer zurück auf die Bestimmung der Abstände vom Zentrum des Gesichtsfeldes. Bei Präparaten senkrecht zur spitzen Bisektrix erhält man auf diese Weise unmittelbar E und nach Kenntnis des mittleren Brechungsindex auch V, oder bei Präparaten der Orientierung wie in Fig. 589, S. 609 die Winkel u_1 und o_1 bzw. u und o. Nicht so einfach liegen die Verhältnisse bei Präparaten schief zu den Bisektrizen. Da aber diese Fälle bei den mikroskopischen Untersuchungen bei weitem am häufigsten

vorkommen, hat F. Becke sich darum verdient gemacht, auch hier mit dem Konoskop die Messungen durchzuführen. Sein Verfahren hat allgemeine Verbreitung gefunden und ist von ihm selbst und von andern Autoren weiter ausgearbeitet worden, worüber nachstehende Literatur Auskunft geben kann.

1895. F. Becke, Bestimmung kalkreicher Plagioklase durch die Interferenzbilder von Zwillingen: T. M. P. M. **14.** 415—442.
1895. Derselbe, Messung von Achsenbildern mit dem Mikroskop. T. M. P. M. **14.** 563—565.
1897. Derselbe, Ausmessung des Winkels zwischen zwei optischen Achsen im Mikroskop. T. M. P. M. **16.** 180—181.
1904. Derselbe, Optische Untersuchungsmethoden. Denkschr. Wien. Akad. **75.** 1904 (1913). 88—95.
1905. Derselbe, Messung des Winkels der optischen Achsen aus der Hyperbelkrümmung. T. M. P. M. **24.** 35—44.
1905. E. Sommerfeldt, Das petrographische Mikroskop als Konoskop. Z. D. G. G. **57.** 1905. 344.
1907. F. E. Wright, The measurement of the optical angle of minerals in the thin section. Am. Journ. **24.** 317—369.
1908. Derselbe, Das Doppel-Schrauben-Mikrometer-Okular und seine Anwendung zur Messung des Winkels der optischen Achsen von Kristalldurchschnitten unter dem Miskroskop. T. M. P. M. **27.** 293—314.
1908. H. Tertsch, Versuch einer Achsenwinkelmessung in einem Mittellinienschnitt. T. M. P. M. **27.** 589—594.
1909. F. Becke, Zur Messung des Achsenwinkels aus der Hyperbelkrümmung. T. M. P. M. **28.** 290—293.
1910. H. Tertsch, Ein neues Zeichenokular. T. M. P. M. **29.** 171—172.
1911. F. E. Wright, The transmission of light through transparent inactive crystal plates, with special reference to observations in convergent polarized light. Am. Journ. **31.** 157—211. S. auch „Methods“ in Publication 158, Carnegie Inst., Washington, 1911. 152 bis 173.
1913. H. Collingridge, Note on the determination of the optic axial angle of a cristal in thin-section by the Mallard-Becke method. Min. Magaz. **16.** 348—391. Ref. N. J. 1914. II. 344.

Man überträgt nach dieser Beckeschen Methode die im Gesichtsfeld irgendwo — also durchaus nicht symmetrisch wie bei einem senkrecht zur Bisektrix liegenden Präparat — erscheinenden Achsen mittelst Camera lucida[1]) auf ein Zeichenblatt und führt die Messungen an dieser Zeich-

[1]) Eine solche Camera hat E. Mallard bereits bei seinen symmetrisch liegenden Achsenbildern benützt. Bull. Soc. Min. Fr. **5.** 1882. 78.

nung mit einem Millimetermaßstab aus. Bei der Verwaschenheit der Hyperbelscheitel in Dünnschliffen muß man ihre Position in verschiedenen Stellungen zeichnen, was entweder durch Drehung der Nicols geschieht oder einen Zeichentisch verlangt, der mit dem Präparat im gleichen Tempo gedreht wird. Bei sehr verwaschenem Inferenzbild benutzt man als Konoskop die v. Lasaulxsche Anordnung; bei schärferen Bildern kann man auch die Amici-Bertrandsche Linse einschalten und an Stelle der Einzeichnung durch die Camera lucida die Position der Achsen mit Hilfe eines um die Mikroskopachse drehbaren Okularmikrometers oder mit einem Doppel-Schrauben-Mikrometer-Okular (s. Fig. 464, S. 436) festlegen. Wählt man die erstere Methode, so liegt das primäre Inferenzbild (Fig. 608, S. 628) dem Auge erheblich näher als das auf der Tischplatte liegende Zeichenblatt ($ab + bc + cd$ in Figur 461, S. 435 mag hier etwa 40 cm betragen). In der Zeichnung erfährt also das Inferenzbild eine Vergrößerung, deren Maß in der gleichen Weise auf empirischem Wege gefunden wird, wie dies unter Benutzung bekannter Achsenbilder in bezug auf das Längenverhältnis gf zu $g_1 f_1$ in Fig. 608 geschieht. — Wenn die die Zeichnung entwerfende Bleistiftspitze von einem kurzsichtigen Auge nicht deutlich gesehen wird, so muß in die Strecke bc nahe bei b (Fig. 461) ein passendes Brillenglas eingeschaltet und bei einem weitsichtigen Auge diese Korrektion mit einem Brillenglas unterhalb b vorgenommen werden.

Nach den Darlegungen in Paragraph 164 ist näherungsweise der Sinus des Winkels, den die Mikroskopachse mit einer optischen Achse bildet, gleich dem linearen Zentralabstand des Hyperbelscheitels, dividiert durch die Brennweite des Objektivs. Bei einem Hartnack-Fueßschen Objektiv Nr. 7 ist die Brennweite etwa 5,2 mm, die Apertur etwa 116° und der lineare Durchmesser des primären Bildes demnach im Maximum etwa 9 mm. Trotz dieser geringen Dimensionen, die in der Zeichnung allerdings etwa auf das Doppelte ausgedehnt werden, hat F. Becke mit seinen Schülern gezeigt, daß die Methode bei größerer Übung einer bemerkenswerten und bei kleinen und vor allem sehr dünnen und schwach doppelbrechenden Präparaten auf keine andere Weise zu erreichenden Präzision fähig ist.

Um von den scheinbaren Winkeln in Luft zu den Winkeln im Kristall zu gelangen, ist wieder die Umrechnung mit dem mittleren Brechungsindex β und zwar am einfachsten auf graphischem Wege (s. oben S. 604) erforderlich. Nach Übertragung dieser Werte in eine stereographische Projektion findet man den Achsenwinkel $2V$.

Ferner hat F. Becke auch seine Methode auf Achsenbilder ausgedehnt, die nur eine Achse im Gesichtsfeld erscheinen lassen. Man legt zuerst die Position dieser Achse in gewohnter Weise fest, bringt die Isogyre (s. § 53, S. 172) einmal in die Frontalstellung und weiter, wenn man hier dem von H. Collingridge gemachten Vorschlag folgt, in

eine das Gesichtsfeld halbierende Lage. Diese beiden Isogyrenlagen sind in Fig. 613 eingetragen. Bei der ersten müssen die Nicolschwingungen NS und OW verlaufen, bei der zweiten mögen sie um einen Winkel σ gedreht sein. Dieser Winkel σ stellt die Auslöschungsschiefe für die Isogyre in der diametralen Lage dar. Mit diesen Beobachtungen und mit der Fresnelschen Konstruktion, die durch die Winkel φ in Fig. 613 angedeutet ist, gelangt man zu der zweiten optischen Achse und damit auch zu dem Achsenwinkel $2V$.

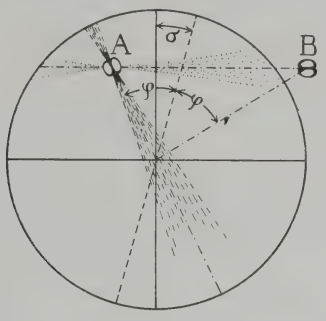


Fig. 613.

Bei der zum Teil großen Schiefe der Durchstrahlung der Platte entstehen Änderungen in den Schwingungsrichtungen, die von denen der Nicols etwas abweichen. Bei dem Verfahren von Collingridge, wo die zentralen Teile der Isogyre beobachtet werden, verschwinden sie. Man kann daher nur hier die Fresnelsche Konstruktion streng zur Anwendung bringen, was bei Isogyrenpunkten, die exzentrisch im Gesichtsfeld liegen, ohne weiteres nicht zulässig ist.

Über eine Methode zur angenäherten Bestimmung von $2V$ durch Beobachtung der Auslöschungsschiefen in Punkten des Skiodromenfeldes, die symmetrisch zum Mittelbalken liegen, hat H. Tertsch Mitteilungen gemacht [1]).

Dritter Abschnitt.

Bestimmung des optischen Charakters im konvergenten Licht.

166. Allgemeines. Die Ergebnisse der Diskussion der Fresnelschen Formel (§ 47—51) finden bei der Bestimmung des optischen Charakters nicht nur im parallelen Licht, sondern auch im konvergenten Licht ihre praktische Verwendung. Die so charakteristischen Kurven gleichen Gangunterschiedes müssen eine Änderung ihrer Lage erfahren, wenn durch eingeschaltete Glimmer-, Gips- oder Quarzblättchen an diesen Gang-

[1]) T. M. P. M. **27.** 1918. 589—594.

unterschieden auch nur die kleinsten Veränderungen vor sich gehen. Aus dieser Lagenänderung der Kurven kann man auf die relative Lage der Vektoren im Kristall und im eingeschalteten Blättchen Schlüsse ziehen und hieraus zwar nicht direkt den optischen Charakter eines Minerals bestimmen, aber doch auf Umwegen, auf denen uns gerade die Beobachtung im konvergenten Licht als sicherste Führerin dient, zum Ziele gelangen. Auch Farbensäume, die sich an den Isogyren mit den empfindlichen Glimmer- und Gips-Blättchen hervorrufen lassen, sind wichtige Anhaltspunkte für die Erkennung der optischen Symmetrieverhältnisse. Sie werden bedeutsam bei dünnen Präparaten, wo die isochromatischen Kurven längst nicht mehr auftreten und nur noch die Isogyren zur Beobachtung gelangen.

Die Erscheinungen können gestört und bei kleinen Gangunterschieden auch ganz aufgehoben werden durch Doppelbrechungen, die nicht so sehr auf die im Paragraph 101 S. 351 berührten Spannungen der Objektiv- und Kondensorgläser zurückzuführen sind, als auf Depolarisationen, die mit dem schiefen Einfall der Strahlen auf die peripherischen Teile dieser Linsen zusammenhängen. So sieht man zwischen gekreuzten Nicols selbst bei vollkommen spannungsfreien Linsen die Brennfläche immer in vier Felder mit einem dunklen Kreuz geteilt, ähnlich wie bei ganz schwach doppelbrechenden einachsigen Kristallen. Nach Einschaltung eines Gipsblattes sieht man bläuliche und gelbliche Färbungen der Quadranten, die man auf den ersten Blick mit den im nächsten Paragraphen zu erklärenden, durch Gangunterschiede hervorgerufenen vergleichen möchte. Hier aber handelt es sich nicht um Gangunterschiede in gewöhnlichem Sinne, die aus dem Rot I. Ordnung bei Vergrößerung bläuliche und bei Verringerung gelbliche Farbentöne hervorrufen, sondern um Farben, die mit Änderungen der Schwingungsrichtungen des einfallenden Lichtes zusammenhängen. Man kann nämlich an einem Gips vom Rot I. Ordnung auch solche Farbenänderungen hervorrufen, wenn man dieses Gipsblatt zunächst in die Dunkelstellung bringt und dann Drehungen um wenige Grade, teils am Gipsblatt, teils am Analysator vornimmt, wenn man also nicht bei streng gekreuzten Nicolschen Prismen, sondern bei einem Winkel von etwa 85° (anstatt 90°) beobachtet. F. E. Wright hat einige lehrreiche Versuche an kleinen Glaskügelchen und Quecksilbertröpfchen beschrieben [1]), die diesen Einfluß der Änderung der Schwingungsebenen auf das empfindliche Rot sehr schön illustrieren. Man beobachtet dazu unter dem Mikroskop bei schwacher Vergrößerung, zwischen gekreuzten Nicols und bei eingeschobenem Gipsblatt, ein Quecksilberkügelchen von $^1/_2$ mm Größe. Das vom Polarisator mit *N*—*S*-Schwingung kommende Licht wird an der Äquatorialzone des Kügelchens so reflektiert, daß es noch vom Objektiv Aufnahme findet. Die Änderung der Schwingungsebenen hat eine kräftige blaue und gelbe Färbung des Kügelchenrandes zur Folge.

[1]) Z. X. **55.** 1915/20. 115—122.

167. Anwendung des Glimmer- und Gipsblattes bei einachsigen Kristallen. Bei einachsigen Kristallen kann man eine Änderung des Gangunterschiedes durch Einschaltung eines sog. $^1/_4$-Undulationsglimmerblättchens (Fig. 614) erreichen[1]). Der Glimmer (Muskovit), bei dem die Ebene der optischen Achsen nahezu senkrecht auf der Spaltfläche steht, läßt sich leicht in so dünne Blättchen spalten, daß die durch Doppelbrechung einer senkrecht auffallenden Wellennormale entstehenden zwei Wellennormalen einen Gangunterschied von nur $^1/_4$ Wellenlänge erhalten. Ein solches Blättchen hat bei Muskovit, wenn man dessen Doppelbrechung (γ-β) in der Spaltebene für Na-Licht zu 0,0068 annehmen will, nach den Ausführungen in Paragraph 45 eine Dicke

$$\mathfrak{d} = \frac{^1/_4 \cdot \lambda}{\gamma\text{-}\beta} = \frac{1}{4}\,\frac{0{,}000589}{0{,}0068} = 0{,}022\text{ mm}.$$

Da der Glimmer optisch negativ ist, so liegen in der Ebene des Spaltblättchens der kleinste (c) und der mittlere (b) Vektor. Der erstere fällt zusammen mit der Verbindungslinie der Austrittspunkte der optischen Achsen, der letztere steht darauf senkrecht. Man merkt sich auf einem solchen Blättchen oder seiner Fassung die Richtung der optischen Achsenebene, also des Vektors c. Die Richtung dieses Vektors, wie sie in Fig. 614 orientiert ist, soll bei dem Glimmerblatt als Regelstellung bezeichnet werden. Hier liegt in der *NW—SO*-Richtung der kleinere Vektor ($\mathfrak{c} < \mathfrak{b}$), im Gegensatz zu dem Gipsblatt vom Rot I. Ordnung (s. Fig. 573), wo man übereingekommen ist, bei der Regelstellung den größeren Vektor ($\mathfrak{a} > \mathfrak{c}$) diese *NW—SO*-Richtung einnehmen zu lassen. Es wäre gut, wenn alle Kristalloptiker sich auch bei dem Glimmerblatt dieser Gewohnheit anschließen und keine Änderung vornehmen wollten, was doch nur unnötige Verwirrung bei den Gedächtnisregeln zur Folge hätte.

Beobachtet man nun die Interferenzfigur eines einachsigen Kristalls mehr oder weniger senkrecht zur optischen Achse, nachdem man das Glimmerblättchen in der Regelstellung zwischen die untersuchte Platte und den Analysator eingeschaltet hat, so sind an Stelle des Kreuzes zwei dunkle Punkte, d und d_1 in Fig. 615 und 616 getreten, und die isochromatischen Kurven sind in zwei gegenüberliegenden Quadranten verengert, in den andern beiden Quadranten erweitert. Der untersuchte Kristall ist optisch positiv (Fig. 615), wenn die Verbindungslinie der dunkeln Punkte senkrecht auf der Achsenebene des Glimmers steht (mit dieser also das Zeichen + bildet), der Kristall ist dagegen negativ (Fig. 616), wenn die Verbindungslinie der dunklen Punkte d und d_1 der Achsenebene des Glimmers parallel geht (—). Man schiebt das Glimmerblatt unmittelbar unter dem Aufsatz-Analysator oder in den Schlitz am untern Ende des

[1]) Dieses Glimmerblatt geht wohl auf H. W. Dove zurück. Pogg. Ann. **40.** 1837. 457. 482. S. auch seine „Darstellung der Farbenlehre und optische Studien". Berlin 1853. 245.

Tubus ein. Liegt dieser Schlitz nicht wie meistens NW—SO, sondern O—W, so muß das Glimmerblatt so geschnitten werden, daß seine lange Kante 45° mit der optischen Achsenebene bildet.

Die Erklärung ergibt sich aus folgender Betrachtung: Es seien in Fig. 615 PP_1 und AA_1 die Hauptschnitte von Polarisator und Analysator, gg_1 die Ebene senkrecht zur Achsenebene des $^1/_4$-Undulationsglimmerblättchens, und im homogenen Licht ab der erste dunkle Ring also der Ort aller Punkte der Platte, für welche der Phasenunterschied = 1 ist. Die Platte ist nach der Annahme optisch positiv; der auf ihr senkrecht austretende Vektor ist der kleinste (s. § 23), es ist also $\mathfrak{c} = c$. Von den an dem Punkt a des ersten dunklen Ringes austretenden Wellen schwingt die außerordentliche im Hauptschnitt ac und wird gegen die senkrecht zum Hauptschnitt schwingende Welle um eine Wellenlänge verzögert. Beide Wellen laufen mit diesem Gangunterschied mehr oder weniger senkrecht durch das Glimmerblättchen. Die außerordentliche Welle wird, da sie hier parallel dem größeren Vektor $\mathfrak{b}$ schwingt (man vergleiche die Orientierung in Fig. 614 mit der in Fig. 615), um $^1/_4\,\lambda$ gegen die ordentliche Welle mit Vektor $\mathfrak{c}$ beschleunigt. Der Gangunterschied der beiden Wellen beim Eintritt in den Analysator beträgt also nun $^3/_4\,\lambda$, der Punkt a kann nicht mehr dunkel sein, sondern der dunkle Ring muß sich verschieben. Die bei a_1 austretende außerordentliche Welle ist ohne das Glimmerblättchen gegen die ordentliche um mehr als λ, etwa um $^5/_4\,\lambda$ verzögert. Zu dieser Verzögerung addiert sich im Glimmerblättchen eine Beschleunigung von $^1/_4\,\lambda$, der Gangunterschied der Wellen ist also nun $^5/_4\,\lambda - {}^1/_4\,\lambda = \lambda$, und bei a_1 muß ein dunkler Ring liegen. Dasselbe findet statt in dem gegenüberliegenden Oktanten PcA_1. — Für die in dem Punkt b des ersten dunkeln Ringes austretenden Wellen ist bc der Hauptschnitt. Auch hier ist in der Kristallplatte die außerordentliche Welle gegen die ordentliche um eine Wellenlänge verzögert. Beim Eintritt in das $^1/_4$-Undulationsglimmerblättchen schwingt aber nun die außerordentliche Welle parallel der Achse des kleinsten, die ordentliche parallel der Achse des größten Vektors. Es wird also die außerordentliche gegen die ordentliche noch weiter verzögert und zwar um $^1/_4$ Wellenlänge. Die Gesamtverzögerung der außerordentlichen Welle gegen die ordentliche beim Eintritt in den Analysator ist also nun $^5/_4\,\lambda$, und b kann nicht mehr auf einer dunklen Kurve liegen. Bei b_1 ist ohne das Glimmerblättchen die außerordentliche Welle um weniger als eine Wellenlänge, etwa um $^3/_4\,\lambda$ verzögert, hierzu addiert sich eine weitere Verzögerung von $^1/_4\,\lambda$ im Glimmerblättchen. Beim Eintritt in den Analysator ist nun der Gangunterschied der beiden bei b_1 austretenden Wellen $^3/_4\,\lambda + {}^1/_4\,\lambda = \lambda$, und b_1 liegt auf der ersten dunkeln Kurve. Der erste dunkle Ring ab muß sich demgemäß nach Einschiebung des Glimmers in 4 Bögen von 90° teilen. In denjenigen Quadranten, durch welche die Achsenebene des Glimmerblättchens geht, ist eine Kontraktion, in den andern zwei Quadranten

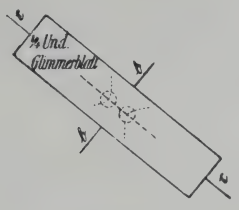


Fig. 614.

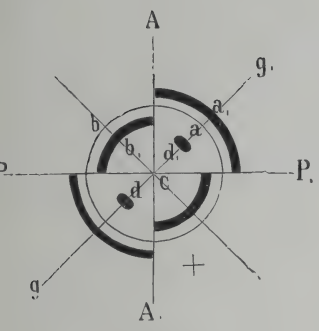


Fig. 615.

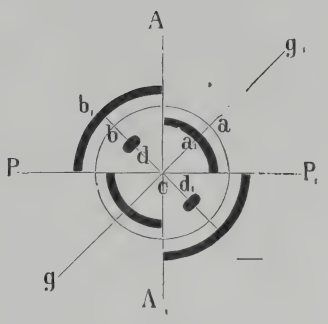


Fig. 616.

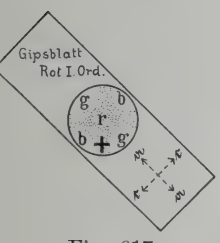


Fig. 617.

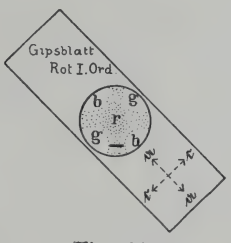


Fig. 618.

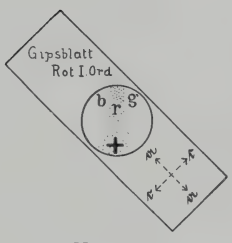


Fig. 619.

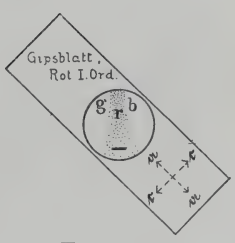


Fig. 620.

Die punktierten Felder in den Figuren 617—620 hat man sich rot (r), die mit b bezeichneten blau, die mit g bezeichneten gelb vorzustellen.

Fig. 622.

Fig. 623.

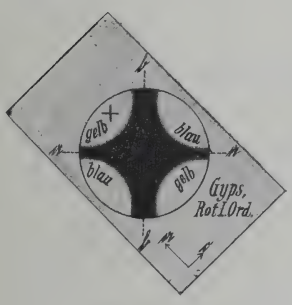


Fig. 621.

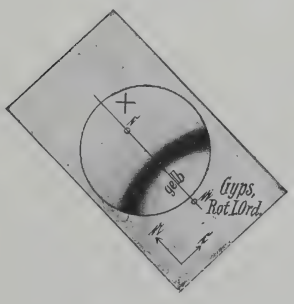


Fig. 624.

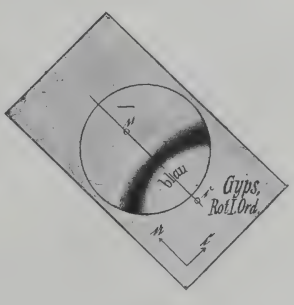


Fig. 625.

eine Dilatation eingetreten. Dieselbe Veränderung erleiden der 2., 3. usw. Ring. — In der gleichen Weise leitet man die umgekehrte Erscheinung der Fig. 616 bei negativem Charakter des untersuchten einachsigen Blättchens ab.

Die dunkeln Flecken entstehen dort, wo der Gangunterschied der die Platte durchlaufenden Wellen $^1/_4\,\lambda$ beträgt und von dem Glimmerblättchen aufgehoben, also auf $0\,\lambda$ zurückgeführt wird.

Bei sehr dünnen Platten mit geringer Doppelbrechung fallen die Ringe des Achsenbildes außerhalb des Gesichtsfeldes, ihre Dilatation oder Kontraktion ist also nicht wahrnehmbar. Ebenso liegen dann oft die nach Einschiebung des $^1/_4$-Undulationsglimmerblattes entstehenden dunkeln Flecken außerhalb des Gesichtsfeldes und machen somit die Bestimmung des optischen Charakters der Platte auf diese Weise unausführbar. In solchen Fällen bedient man sich mit Vorteil des in Paragraph 147 beschriebenen und in Fig. 573 in der hier vorgeschlagenen Orientierung abgebildeten Gipsblättchens vom Rot I. Ordnung an Stelle des $^1/_4$-Undulationsglimmerblattes. Da außerdem die mit dem Gipsblatt erhaltenen Farbenerscheinungen auch an dicken Platten ebenso gut wie die dunkeln Flecken des Glimmerblattes zu sehen sind, so kann das letztere bei allen nicht zu tief gefärbten Kristallen durch das Gipsblatt ersetzt werden.

Schaltet man ein solches Gipsblatt in der durch Fig. 617 angegebenen Stellung und Orientierung in den Strahlengang eines optisch positiven, einachsigen Kristalls ein, so erscheint das vorher dunkle Kreuz rot, und die *SW—NO* innerhalb des ersten isochromatischen Ringes liegenden Quadranten werden blau, die beiden andern *NW—SO* liegenden Quadranten gelb. Bei einem negativen Kristall vertauschen sich die Farben in den Quadranten (Fig. 618). Um eine an die Zeichen + und — anknüpfende Gedächtnisregel zu bilden, halte man sich an die **blaue** Farbe und merke sich, daß die Verbindungslinie der **blauen** Quadranten mit der Längsrichtung des Gipsblattes unserer Orientierung das Zeichen andeutet.

Die Erklärung der Erscheinung beruht auf den gleichen Überlegungen, wie sie bei dem $^1/_4$-Undulationsglimmerblatt angestellt wurden. Bei einem optisch positiven Kristall schwingen von den in den *SW* und *NO* Quadranten austretenden Wellen diejenigen mit dem kleineren Vektor, die ihre Schwingungen im Hauptschnitt, also in einer *SW—NO* liegenden Ebene ausführen, und solche Wellen treffen auch im Gips auf den kleineren Vektor. Zu dem durch die Kristallplatte entstandenen Gangunterschied addiert sich also der durch das Gipsblatt erzeugte, daher müssen in der Nähe des roten Kreuzes diese beiden Quadranten eine etwas höhere Inferenzfarbe, nämlich Blau zeigen. Umgekehrt findet in den *NW—SO* liegenden Quadranten eine teilweise Kompensation der Gangunterschiede statt, und die Farbe des Gipses sinkt von Rot auf Gelb.

Diese Methode wird im Heidelberger mineralogischen Institut seit 1887 angewendet und ist später von F. Rinne unabhängig gefunden worden [1]).

Bei Schnitten schief zur optischen Achse, die diese Achse nicht mehr im Gesichtsfeld zeigen, aber eine gerade zentrale Pendelbarre liefern, bringt man nach F. Becke [2]) diese Barre in die N—S-Lage mit dem homodromen Ende (s. § 54, S. 180) nach Norden und schaltet ein Gipsblättchen in der Regelstellung, wie es in der Fig. 619 und 620 gezeichnet ist, ein. Die Interferenzfarbe steigt (Blaufärbung):

bei positiven Kristallen links von der Barre,
bei negativen Kristallen rechts von der Barre.

Man sieht bei dem Vergleich der Figuren 619 und 620 mit den Figuren 617 und 618, daß es sich nur um eine exzentrische Verschiebung der ganzen Erscheinungen handelt, daß also die Figuren 619 und 620 je den unteren Teil der Figuren 617 und 618 wiedergeben.

Bei Schnitten parallel zur optischen Achse kann man die Lage dieser Achse an den Erscheinungen im konvergenten Licht erkennen, wie sie im Paragraphen 55 beschrieben sind. Man kann also entweder die Lommelsche Beobachtung anstellen und auf das Zerbrechen des Kreuzes in zwei hyperbolische dunkle Schatten achten, oder sich erinnern, daß die optische Achse in den Quadranten mit den fallenden Farben liegt. Hat man einmal diese Richtung ermittelt, so ist es wieder eine einfache Aufgabe, mit Hilfe des Gipsblattes festzustellen, ob es sich hier um den Vektor a oder c, also um ein negatives oder positives optisch einachsiges Mineral handelt.

Bei Präparaten mit äußerst niedrigen Interferenzfarben kann man nach A. Köhler [3]) sehr dünne Glimmerblättchen von etwa $^1/_{16}\ \lambda$ Gangunterschied anwenden und in folgender Weise verfahren: Man bringt den Kristall in die 45°-Stellung und das Glimmerblättchen mit seinen Hauptvektoren zunächst parallel zu den Nicolhauptschnitten. Dreht man alsdann das Glimmerblättchen aus diesem Azimuth von 0° in ein wirksames Azimuth von 45°, so sieht man das ursprüngliche Kreuz sich in zwei „Hyperbeln“ auflösen. Sie treten in jenen Quadranten auf, wo die Farbe fällt.

168. Anwendung des Glimmer- und Gipsblattes bei zweiachsigen Kristallen. Auch in Platten aus zweiachsigen Kristallen, die senkrecht zur Bisektrix geschnitten sind, kann man vermittelst eines $^1/_4$-Undulationsglimmerblättchens das Zeichen der Doppelbrechung bestimmen [4]). Man

[1]) N. J. 1891. II. 21.

[2]) Optische Untersuchungsmethoden. Denkschr. Wien. Akad. **75.** 1904 (1913). 77—84; Die Skiodromen. T. M. P. M. **24.** 1905. 31; s. auch § 53, S. 174.

[3]) Z. f. wiss. Mikrosk. **38.** 1921. 29—42.

[4]) S. auch G. Cesáro, Ann. Soc. Géol. Belgique **20.** 1892/93. 99—106.

bringt die zu untersuchende Platte zwischen gekreuzte Nicols in die Hyperbelstellung und schiebt das Glimmerblättchen in der Regelstellung ein. Ist die untersuchte Platte optisch positiv, also ihre Bisektrix Achse des kleinsten Vektors (c), so sind die Achsenringe verengert in den Quadranten, durch welche die Achsenebene des $^1/_4$-Undulationsglimmerblättchens geht, erweitert in den beiden andern. Bei negativem Charakter der untersuchten Platte tritt Dilatation der Achsenringe in den Quadranten ein, durch welche die Achsenebene des Glimmers geht, Kontraktion in den beiden andern. Die Methode ist nur bei Interferenzbildern mit gut ausgebildeten isochromatischen Kurven zu empfehlen. Daß auch hier, bei den zweiachsigen Kristallen, der Gebrauch des Gipsblattes vorzuziehen ist, hat F. Rinne ebenfalls hervorgehoben [1]).

Bei einem Präparat, das im Konoskop den Austritt der spitzen Bisektrix zeigt, aber von isochromatischen Kurven nichts erkennen läßt, bringt man das Achsenbild in die Kreuzstellung, eine Stellung, die man immer dann wählt, wenn $2E$ so groß ist, daß die Achsen außerhalb des Gesichtsfeldes liegen. Ferner orientiert man die Achsenebene von W nach O und schiebt das Gipsblatt in der Regelstellung darüber. Alsbald erscheint der dunkel schattierte Teil rot, und der schmälere, von W nach O gehende Balken, der die optischen Achsen miteinander verbindet, läßt farbige Säume in Blau und Gelb in der Verteilung erkennen, wie sie für eine positive Bisektrix in Figur 621 eingeschrieben ist. Bei einem negativen Achsenbild treten Blau und Gelb in vertauschter Stellung auf.

Auch bei dem Erscheinen von nur einer Achse im Gesichtsfeld des Konoskops ist, wie F. Becke beschrieb [2]), der optische Charakter mit dem Gipsblatt leicht zu bestimmen. In Paragraph 57, S. 186 ist schon gesagt, daß die Konvexität der Hyperbeln Anhaltspunkte für die Lage der spitzen Bisektrix bietet. So liegt in einem Achsenbild, wie es Figur 622 zeigt, die spitze Bisektrix in SO und in einem andern (Fig. 623) in NW. Ein eingeschobenes Gipsblatt mit Rot I. Ordnung färbt zunächst die Mitte der Hyperbeln rot und bringt ferner in der Diagonalstellung an demjenigen Hyperbelrand einen blauen Saum hervor, der nach dem kleineren Vektor (c) hin gerichtet ist. Ist der kleinere Vektor die spitze Bisektrix, wie in Figur 624, so liegt ein positiver Kristall, im andern Fall (Fig. 625) ein negativer Kristall vor.

Schließlich kann man auch nach F. Becke in Schnitten zweiachsiger Kristalle, die parallel zur Achsenebene geführt sind und also das Bild der optischen Normale im Konoskop erkennen lassen, den optischen Charakter mit Hilfe des Gipsblattes bestimmen. Es sind hier zwei Beobachtungen zu kombinieren. Zunächst hat man sich des in Paragraph 58 Gesagten zu erinnern, nämlich wie man im konvergenten

[1]) N. J. 1891. II. 26—27.
[2]) S. o. S. 645, Fußnote 2.

Licht an dem Bild über der optischen Normale die Richtung der spitzen Bisektrix erkennt, und ferner hat man im parallelen Licht zu entscheiden, ob bei der Lage der spitzen Bisektrix *NO—SW* die rote Farbe des Gipses nach Blau (+) oder nach Gelb (—) umschlägt. Als Studienobjekte sind Enstatit (+), Bronzit (±) und Hypersthen (—) in Spaltblättchen nach der vollkommensten Spaltbarkeit zu empfehlen.

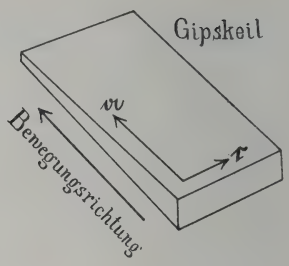
Auch kann man die Lage der spitzen Bisektrix bei solchen Präparaten senkrecht zur optischen Normale in der Weise feststellen, wie dies durch E. Lommel bei einachsigen Platten geschah. Man sieht nämlich, wenn man von der Kreuzstellung ausgeht, nach einer Drehung des Präparates um etwa 1° die hyperbelartigen Schatten in jene Quadranten zurückweichen, wo die spitze Bisektrix liegt. Bei kleinen Achsenwinkeln findet diese Wanderung langsamer statt, als bei großen. Die Schnelligkeit dieses Zurückweichens hat F. E. Wright[1]) benutzt, um eine gewisse Vorstellung von der Größe des Achsenwinkels zu erhalten.

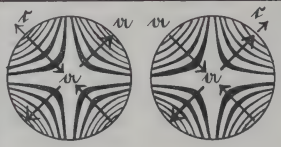
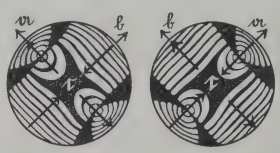
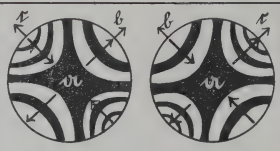
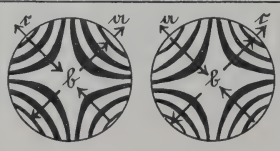
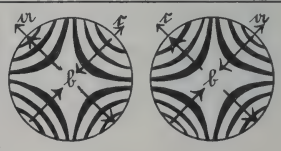
Bei beliebig schiefen Präparaten zweiachsiger Kristalle lassen sich die mit dem Gipsblatt erreichten Farbensäume nicht so eindeutig verwerten, wie bei den einachsigen Kristallen nach den Figuren 617 und 618. Eine genauere Untersuchung lehrte F. Becke (l. c.), daß in dem Raum zwischen den Achsen und der ersten Mittellinie ein Feld existiert, wo die Gipsblattreaktion das entgegengesetzte Vorzeichen aufweist, wie der optische Charakter des Minerals.

169. Anwendung des Gips-(Quarz-)Keils. Auch bei dicken oder stark doppelbrechenden Achsenpräparaten optisch zweiachsiger Kristalle, die im Konoskop mehrere isochromatische Kurven erkennen lassen, gibt es einen guten Ersatz für das $^1/_4$-Undulationsglimmerblatt in Gestalt des in Paragraph 149 beschriebenen und in Figur 576 S. 588 abgebildeten Gipskeils. Angenommen, es liege ein optisch negativer Kristall vor und es sei also die mit der Konoskopachse mehr oder weniger zusammenfallende spitze Bisektrix der größte Vektor $\mathfrak{a}$, angenommen ferner, es liege die Achsenebene wie in Figur 142 von *SW* nach *NO*, und es werde der Gipskeil mit dem dünnen Ende voran von *SO* nach *NW* eingeschoben, so sind große und kleine Vektoren im Präparat und Keil gleichgerichtet, und die Einschaltung des Keils entspricht einer optischen Verdickung des Präparats. Die isochromatischen Kurven müssen also zahlreicher werden und dabei von den Quadranten, in denen die optische Normale liegt, nach der Mitte und von hier aus in senkrechter Richtung nach den Hyperbelscheiteln, wo sie sich gleichsam anhäufen, wandern. Dreht man das Blättchen um 90°, sodaß die Achsenebene von *NW* nach *SO* läuft und prüft man wieder die Veränderung an den isochromatischen Kurven durch eine abermalige Einschiebung des Keils in der Richtung von *SO* nach *NW*, so muß nun der umgekehrte Verlauf an den Kurven

[1]) Am. Journ. **20.** 1905. 293—295; s. auch „Methods". 79—80.

Einschiebung des Gipskeils
in Regelstellung
mit dünnerem Ende voran.



	Lage des Kristalls	Wanderung der isochromatischen Kurven bei positiven Kristallen	Wanderung der isochromatischen Kurven bei negativen Kristallen
Einachsige Kristalle	senkrecht zur Achse		
	schief zur Achse		
	parallel zur Achse		
Zweiachsige Kristalle	senkrecht zur spitzen Bisektrix		
	senkrecht zur stumpfen Bisektrix		
	senkrecht zur optischen Normale		

zu beobachten sein, wie er einer optischen Verdünnung entsprechen würde. Die nach dem Zentrum gelegenen Teile der um die Achsenpole ringförmig auftretenden Lemniskaten müssen nach der Mitte wandern und sich von hier aus nach der Richtung der optischen Normale öffnen. Beide Beobachtungen, schnell hintereinander angestellt, lassen nie im Zweifel, ob man es mit einem positiven oder negativen Kristall zu tun hat.

Man kann diese Erscheinung der wandernden isochromatischen Kurven auch bei Präparaten anwenden, die keine Achse mehr im Gesichtsfeld austreten lassen, worunter auch solche senkrecht zur stumpfen Bisektrix und senkrecht zur optischen Normale und auch schief zu diesen Richtungen sein können.

Bei einachsigen Kristallen schief zur optischen Achse kann die Methode ebenfalls gebraucht werden, was im Züricher petrographischen Institut nach Herrn Dr. Th. Woynos brieflicher Mitteilung schon seit 1914 geschieht. Auch Präparate parallel zur optischen Achse und von sehr erheblicher Dicke — z. B. 2 cm dicke Quarze — lassen sich nach diesem Verfahren in ihrem optischen Charakter bestimmen, wie Herr Dr. E. Ernst im Heidelberger Institut fand; nur muß man im letzteren Fall einfarbiges Licht anwenden. Über den Sinn der Bewegungen der Kurven in den einzelnen Quadranten bei den verschiedenen positiven und negativen Kristallen gibt die Tafel mit den eingezeichneten Figuren auf nebenstehender Seite Aufschluß.

Viertes Kapitel.

Das Totalreflektometer und seine Anwendung.

Außer den spezifisch mikroskopischen Methoden zur Bestimmung der Lichtbrechung, die in den Paragraphen 133—140 besprochen wurden, und bei denen das Polarisationsmikroskop mit einigen Hilfsapparaten gebraucht wird, hat sich die Methode der Totalreflexion im Laufe der letzten Jahrzehnte sehr vervollkommnet. Besonders bedient man sich auch des Totalreflektometers als eines wichtigen Hilfsinstrumentes bei der Einbettungsmethode, um mit ihm am schnellsten und sichersten die Lichtbrechung der Einbettungsflüssigkeiten (s. § 136) zu bestimmen.

170. Totalreflektometer für mineralogisch-petrographische Zwecke sind in einer ganzen Reihe von Konstruktionen ausgeführt worden, die teils an das Kohlrauschsche Prinzip des Eintauchens in Flüssigkeiten [1]), teils an die Wollastonsche Prismenmethode [2]), die durch

[1]) Zuerst von J. Thoulet für das Mikroskop eingerichtet, Bull. Soc. Min. Fr. **6.** 1883. 184—191, aber nun überholt. S. ferner A. J. Moses und E. Weinschenk, Z. X. **26.** 1896. 150—155. C. Klein, S. B. A. 1898. 5—9.

[2]) F. Wallerand, Bull. Soc. Min. Fr. **20.** 1897. 234—257. **22.** 1899. 67—69. **25.** 1902. 54—56. C. Klein, S. B. A. 1902. 106—110.

Liebisch für makroskopische Kristalle vervollkommnet wurde, anknüpfen, die aber alle übertroffen werden durch jene Apparate, welche die Bertrandsche Halbkugel mit der Methode von Pulfrich-Abbe verbinden. E. Bertrand benutzte zuerst eine Halbkugel, die er entweder in feste Lage zu einer Skala brachte[1]) oder, um die Genauigkeit der Ablesung zu erhöhen, mit einem neigbaren Mikroskop[2]) verband. Letztere Versuche scheinen zu keinem befriedigenden Resultat geführt zu haben, dagegen ist der kleine Apparat mit fester Skala für orientierende Vorversuche bei nicht zu kleinen Kristallen gut zu gebrauchen und möge schon wegen des neuen Konstruktionsprinzips hier beschrieben werden. Er besteht (Fig. 626) aus einem etwa 5 cm langen Metallrohr R, worin zwei kurze Rohrstutzen sich verschieben lassen. Das mittlere Röhrchen trägt am inneren Ende eine in $^1/_{10}$ mm geteilte Skala S, die durch die Schraube s festgeklemmt werden kann. Der Abstand f dieser Skala von der Halbkugel beträgt, wenn r ihr Radius und N ihr Brechungsindex ist

$$f = \frac{r}{N - 1}.$$

Dieser Wert folgt aus Formel (1) S. 264 für $a_1 = f$ und $b_1 = \infty$. Das innerste Röhrchen ist mit einer Lupe L versehen, die für verschiedene Augen eine scharfe Einstellung auf die Skala gestattet. An der linken Seite ist das Hauptrohr unter 30° abgeschrägt und auf der teilweise elliptischen Endfläche mit einer Halbkugel H von sehr stark brechendem Glase in der Weise geschlossen, wie es die Figur zeigt. Der Mittelpunkt der Planfläche dieser Halbkugel soll in der Rohrachse liegen (was in der Figur nicht genau eingehalten ist). Bei G ist eine Mattscheibe eingesetzt. Der zu bestimmende Kristall K wird mit einer Flüssigkeit, die ihn an Lichtbrechung übertrifft, auf die Halbkugel geheftet und durch Licht von der Mattscheibe aus beleuchtet. Man sieht alsdann den oberen Teil des Gesichtsfeldes dunkel, den unteren hell, und die Stellung der Grenze ist charakteristisch für das Brechungsvermögen des Kristalls. Die Skala wird durch Mineralien von bekannter Lichtbrechung ausgewertet. Bei doppelbrechenden Kristallen kann eine zweifache Grenze auftreten, wie dies Fig. 627 erkennen läßt; doch zeigen nur stark doppelbrechende Medien diese Erscheinung, da die Genauigkeit des Apparates im allgemeinen nicht über die zweite Dezimale hinausgeht. Zwei in technischer Beziehung etwas vervollkommnete Ausführungen dieses Totalreflektometers hat G. F. Herbert Smith beschrieben[3]).

Zu feineren Messungen mit dem Totalreflektometer ist die Halb-

[1]) Bull. Soc. Min. Fr. **8.** 1885. 375—377, 382—383 und 426—428.
[2]) Bull. Soc. Min. Fr. **9.** 1886. 15—21; **10.** 1887. 140—141.
[3]) Min. Magaz. **14.** 1905. 83—86. u. **14.** 1907. 354—359.

kugel erst von E. Abbe[1]), als er an das Pulfrichsche Prinzip[2]) anknüpfte, verwendet worden. Im wesentlichen unterscheidet sich die Abbesche Benutzung der Halbkugel von der bei Bertrand üblichen dadurch, daß er die aus diesem Glaskörper konvergent austretenden Strahlen nicht wie in Fig. 626 zum Schnitt kommen läßt, um die Lage dieses Brennpunktes durch Lupe oder Mikroskop abzulesen, sondern daß er nahe an die Halbkugel eine plankonkave Linse von gleichem Glas und gleicher Krümmung wie jene legt und dadurch parallele Strahlen erhält, die sich mit einem Fernrohr beobachten lassen.

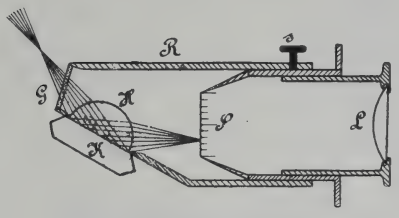


Fig. 626.
Bertrandsches Totalreflektometer.

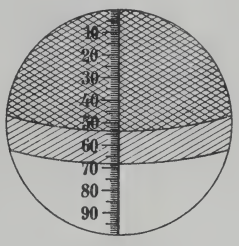


Fig. 627.

Um die Verbesserungen für mineralogische Objekte hat sich besonders C. Klein verdient gemacht, der nach mannigfachen Vorversuchen[3]) und mit Unterstützung von C. Leiß das in Fig. 628 in Totalansicht dargestellte Instrument konstruierte[4]), dessen Fernrohr in Fig. 629 im Durchschnitt abgebildet ist. An diesem Fernrohr ist *c* die eben erwähnte plankonkave Linse, aus der die Strahlen in das aus Objektiv *Ob* und Okular *Oc* bestehende Fernrohr mit der Bildebene bei dem Kreuz (×) treten. Um die Beobachtung bequemer ausführen zu können, ist ein total reflektierendes Prisma *P* angebracht, das über sich zunächst das durch einen Knopf drehbare Nicol *N*, dann eine Irisblende *J* und zuletzt eine Vorschlaglupe *L* trägt. Diese Lupe bildet mit den übrigen Linsen zusammen ein zehnfach vergrößerndes Mikroskop und ermöglicht die Einstellung des etwa in einem Dünnschliff liegenden Mineralblättchens auf die Mitte der Halbkugel oder des Gesichtsfeldes. Die störende Wirkung aller in der Umgebung liegenden Mineralien wird durch Abblendung mittelst der bei kleinen Objekten sehr wichtigen Irisblende aufgehoben. Diese Irisblende

[1]) S. Czapsky, Zeitschr. f. Instr. **9.** 1889. 360. **10.** 1890. 246—255 und 269—275. N. J. B. B **7.** 1890. 175—200. Hier finden sich auch wichtige Mitteilungen, die sich auf die durch exzentrische Lage der Halbkugel entstehenden Fehler beziehen; N. J. 1892 I. 209—210; s. auch C. Pulfrich, Z. X. **30.** 1899. 567—586.

[2]) C. Pulfrich, Das Totalreflektometer usw. Leipzig 1890. 140 S., wo auch ausführlich ältere Literatur zu finden ist. Zeitschr. f. Instr. **19.** 1899. 4.

[3]) S. B. A. 1898. 325—329; 1902. 113—114.

[4]) S. B. A. 1902. 653—655; s. auch C. Leiß, Zeitschr. f. Instr. 1902. 331—334 und T. M. P. M. **23.** 1904. 51—58.

ist die von S. Czapski zuerst vorgeschlagene und in ihrer Wirkungsweise erklärte [1]) (s. auch § 163 Fig. 605). Man sieht mit dem Mikroskop den im Zentrum der Halbkugelfläche liegenden Gegenstand besonders

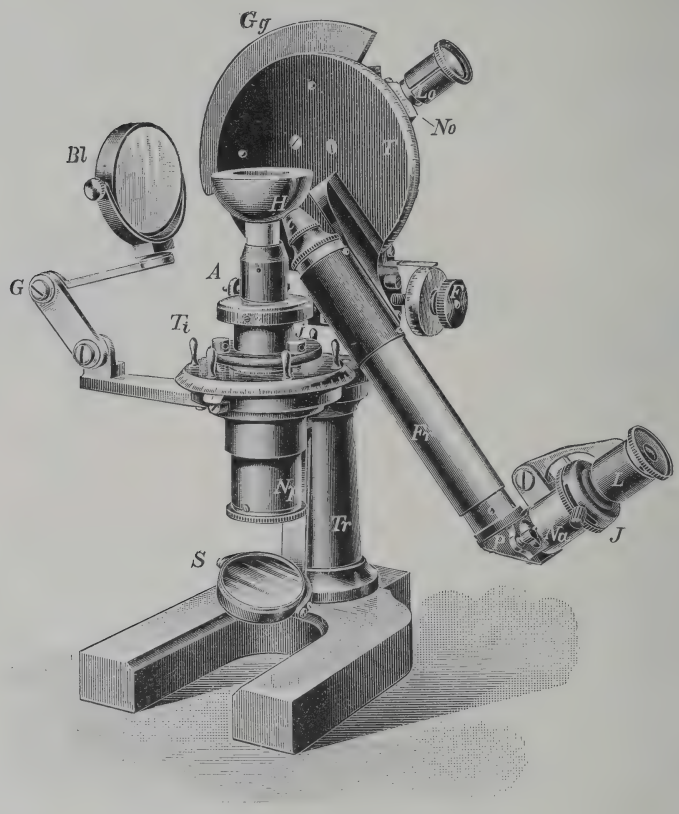


Fig. 628.
Totalreflektometer nach C. Klein von R. Fueß.

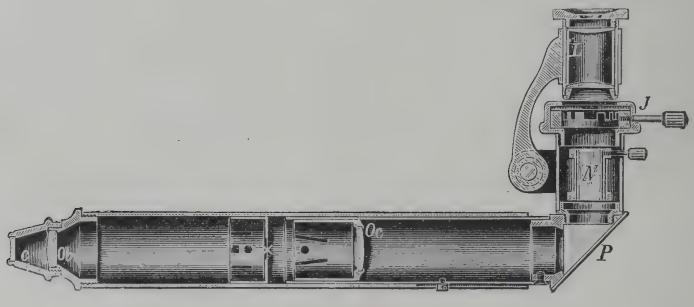


Fig. 629.
Fernrohr des Totalreflektometers nach C. Klein von R. Fueß.

[1]) Zeitschr. f. Instr. **13.** 1893. 5; s. auch C. Pulfrich, Z. X. **30.** 1898. 570—571.

deutlich von oben her durch die Luft, kann ihn aber auch von unten her durch die Halbkugel zur Zentrierung genügend deutlich, wenn auch etwas verwaschen, erkennen. Nach Entfernung der Vorschlaglupe beobachtet man mit einem etwa $1^1/_2$fach verkleinernden Fernrohr die Grenze der Totalreflexion bei streifender oder reflektierter Beleuchtung (s. Fig. 630 und 631).

Von den in Fig. 628 abgebildeten mechanischen Teilen des Instrumentes dient der Spiegel *S* zur Beleuchtung von unten bei mikroskopischer Beobachtung von oben, der Spiegel *Bl* oder eine an seine Stelle zu setzende Linse zur Beleuchtung bei Einstellung der Grenzlinie. Für die erstere Beleuchtungsart ist das mit einem Nicol versehene Rohr *Np* durchbohrt. Der Teilkreis *T* ist auf halbe Grade geteilt und sein Nonius mit Lupe *Lo* erlaubt Ablesungen auf ganze, Schätzungen auf halbe Minuten; feinere Dispersionsmessungen werden mit der Mikrometerschraube *F* ausgeführt. Die Halbkugel *H* läßt sich durch die Schrauben *j* und *z* justieren und zentrieren. Die Balanzierung erfolgt durch das Gegengewicht *Gg*.

171. Die Herrichtung des Totalreflektometers zum Gebrauch. Mit den Justierarbeiten des Totalreflektometers von dem Typus, wie er in Fig. 628 abgebildet ist, haben sich eine Reihe von Forschern beschäftigt, unter denen hier S. Czapski[1]), W. Feußner[2]), C. Leiß[3]), F. Stöber[4]), C. Viola[5]) und F. E. Wright[6]) genannt werden mögen.

Die Gestalt der Halbkugel darf als richtig angenommen werden, denn die moderne optische Industrie vermag nach dieser Richtung ohne Schwierigkeiten in praxi vollkommen sphärische Flächen herzustellen. Ferner sind folgende Forderungen zu erfüllen.

1. Die Achse des Limbus *T* (Horizontalachse) soll senkrecht zur Achse des Limbus *Ti* (Vertikalachse) liegen.

2. Die Basisfläche der Halbkugel soll senkrecht zur vertikalen Achse stehen (justierte Lage der Halbkugel).

3. Der Mittelpunkt der Basisfläche der Halbkugel soll in der vertikalen Achse liegen (zentrierte Lage der Halbkugel).

4. Die Basisfläche der Halbkugel soll in der horizontalen Achse liegen (Höhenlage der Halbkugel).

5. Die Teilung des Vertikalkreises soll bei vertikaler Lage des Fernrohrs 180°, bei horizontaler Lage 90° ablesen lassen.

---

[1]) N. J. B. B. **7.** 1890. 187—200.
[2]) Zeitschr. f. Instr. **14.** 1894. 84—100.
[3]) „Die optischen Instrumente". 1899. 38—44.
[4]) Z. X. **54.** 1915. 275—277.
[5]) Z. X. **30.** 1899. 427—439.
[6]) Zeitschr. f. Instr. **28.** 1908. 201—206.

6. Die optische Achse des zur Beobachtung der Totalreflexion dienenden Fernrohrs soll ebenso wie der Limbus senkrecht zur horizontalen Achse liegen.

Für die Justierung der vertikalen und horizontalen Achse entfernt man vorübergehend den Träger A mit der Halbkugel H durch Lösung der Zentrierschraube z; auch schraubt man vorläufig die Konkavlinse c vom Fernrohr ab. Darauf stellt man eine planparallele Platte mittelst eines passenden Halters parallel zur Vertikalachse auf jenen ringförmigen Teil, auf dem sonst die Halbkugel mit ihrer Montierung lagert und richtet das Fernrohr hierzu senkrecht durch Autokollimation in zwei horizontalen Lagen von rechts und von links. Passende Korrekturen am Fadenkreuz dieses nur für die jetzige Justierung ohne Konkavlinse gebrauchten Fernrohrs bringen seine optische Achse senkrecht zur horizontalen Limbusachse. Darauf legt man die planparallele Platte, die nunmehr nur von der einen Seite gebraucht wird, mit drei Wachsunterlagen horizontal auf das Rohrende bei z und verändert die Wachskügelchen durch einseitigen Druck so lange, bis ein im Fernrohr beobachteter Reflex bei Drehung der Platte um die vertikale Achse in vollkommener Ruhe bleibt. Nun stellt man das Fernrohr nach oben wieder durch Autokollimation senkrecht zu jener planparallelen Platte oder parallel zur vertikalen Drehachse. Sollte dies durch Drehung um die Limbusachse nicht möglich sein, so beseitigt man etwaige Abweichungen durch Betätigung der Schrauben an dem Limbusträger.

Nachdem so die erste Forderung erfüllt ist, befestigt man die Halbkugel wieder auf dem Instrument, nimmt eine vorläufige rohe Zentrierung vor und justiert an den Schrauben j so lange, bis die Planfläche der Halbkugel einen fernen Gegenstand im Fernrohr bei Drehung der Halbkugel um die vertikale Achse in Ruhe spiegelt (Erfüllung der Forderung 2).

Die Forderungen 3 und 4 werden erfüllt durch Beobachtung des gleichmäßigen Abstandes der Oberfläche der Halbkugel gegenüber der wieder aufgeschraubten Konkavlinse vor dem Objektiv des Fernrohrs bei Drehung der Halbkugel. Dies läßt sich bei dem geringen Abstand mit einer Lupe sehr genau durchführen und bedarf keiner Fühlhebelvorrichtung, wie man auch vorgeschlagen hat. Man beobachtet zuerst den Äquatorabstand und stellt diesen gleichmäßig mittelst der Schrauben z her. Darauf prüft man die richtige Höhenlage der Halbkugel durch Beobachtung des gleichmäßigen Abstands bei tieferen Lagen des Fernrohrs.

In der fünften Forderung wird die richtige Lage des Nullpunktes der Limbusteilung im Nadir (oder des Punktes 180^0 im Zenit) der Halbkugel verlangt. Diese Lage würde sehr einfach zu prüfen sein, wenn die Teilung über den ganzen Limbus ginge und sich nicht nur über etwa einen Quadranten erstreckte. Dann nämlich brauchte man nur nach Wiederaufschraubung der Konkavlinse den Winkel ϱ der Totalreflexion auf beiden Seiten der Halbkugel zu messen, um zu erkennen, ob die

Mittellage von beiden Ablesungen auf den Nullpunkt der Teilung führt. Bei der fehlenden Durchteilung des Limbus muß man aber bedenken, daß die Fernrohrachse ohne Konkavlinse, wie sie zu den Justierungen 1 und 2 diente, nicht ohne weiteres dieselbe Lage hat, wie die Fernrohrachse, die bei der Einstellung der Grenze der Totalreflexion in Frage kommt. Bei einer fehlenden Durchteilung, die aber bei allen Instrumenten in Zukunft angebracht werden sollte, kann man sich auf folgende Weise helfen. Der Brechungsindex der Halbkugel sei für Na-Licht N und der Winkel der Totalreflexion gegen Luft mit dem Brechungsindex 1 und gegen Wasser mit dem Brechungsindex n_w sei $\varrho_l + \delta$ bzw. $\varrho_w + \delta$.

Dann gelten folgende Gleichungen

$$1 = (N + \Delta) \cdot \sin(\varrho_l + \delta) \tag{1}$$

$$n_w = (N + \Delta) \cdot \sin(\varrho_w + \delta). \tag{2}$$

Hieraus folgt

$$n_w = \frac{\sin(\varrho_w + \delta)}{\sin(\varrho_l + \delta)}. \tag{3}$$

Wenn nun beobachtet wurde

$$\begin{aligned} \varrho_l + \delta &= 33^\circ 48' \\ \varrho_w + \delta &= 47^\circ 53', \end{aligned} \tag{4}$$

so findet man nach (3)

$$n_w = 1{,}3334.$$

Der richtige Wert wäre bei der Beobachtungstemperatur von 16° 1,33326.

Wenn man nun einmal annimmt, daß die Winkel in (4) um je 0° 1′ zu klein gefunden seien, so würde man für (3) anzunehmen haben

$$n_w = \frac{\sin(47^\circ 54')}{\sin(33^\circ 49')} = 1{,}3332,$$

woraus man für den richtigen Wert des Wassers bei 16° die Nullmarke um 0° 0,7′ zu verändern und zwar den Nonius im Sinne der Teilung um diesen Betrag zu verschieben hätte.

Man muß der Sicherheit wegen diese Messung mehrfach wiederholen und kann zur Kontrolle auch noch andere Medien heranziehen, unter denen besonders geeignet sind:

farbloser Flußspat	$n = 1{,}4338$,
Kalkspat	$\varepsilon = 1{,}4864$,
Quarz	$\omega = 1{,}5442$,
Quarz	$\varepsilon = 1{,}5533$,
Kalkspat	$\omega = 1{,}6584$.

Man darf bei diesen aufgelegten Kristallen aber nicht unbeachtet lassen, daß die Grenzebenen nie solche eindeutigen Lagen haben, wie die

Luft und der Wassertropfen. Einer orientierten Fläche bedarf es bei der Verwendung der außerordentlichen Brechung bei Quarz und Kalkspat nicht, wie weiter unten auf S. 660 erläutert wird. Mit diesem korrigierten Nullpunkt läßt sich nun auch aus Gleichungen (1) und (2) das Δ und damit der richtige Wert für den Brechungsindex N der Halbkugel finden.

172. Die Ausführung der Messung und die Beleuchtung am Totalreflektometer. Bei dem Totalreflektometer beobachtet man eine Erscheinung, die sich auf kein reelles Objekt zurückführen läßt. Man sieht nur eine Schattengrenze zwischen hell und dunkel und zwar so wenig deutlich, daß man sie anfangs für ganz unzuverlässig und nicht geeignet zu exakten Messungen halten möchte, bis das Auge sich daran gewöhnt hat und in diesem zarten Gebilde eine vortrefflich einstellbare Marke würdigen lernt. Die Beleuchtung muß freilich darnach eingerichtet werden, da sonst die Erscheinung schließlich ganz verschwindet. Die Theorie sagt (s. § 16), daß die Totalreflexion bei Strahlen eintritt, die von einem ganz bestimmten Winkel ϱ an gegen die Grenzfläche geneigt sind. Solche Strahlen werden mit einem Fernrohr beobachtet. Wenn man daher in den Figuren 630 und 631 die Beleuchtungsverhältnisse näher betrachtet, so hat man sich unter jedem Strahl 1 oder 2 oder 3 usw. ein ganzes Bündel von Parallelstrahlen vorzustellen.

Die Beleuchtung zur Hervorbringung der Grenze zwischen hell und dunkel kann entweder durch streifend einfallendes Licht (Fig. 630) oder durch reflektiertes (Fig. 631) erfolgen. Die Beleuchtungsverhältnisse sind in den genannten Figuren so dargestellt, wie sie zwischen Kalkspat ω und einem Glas vom Brechungsindex 1,83 auftreten. Der optische Kontakt zwischen Kristall und Halbkugel muß durch eine Flüssigkeit, deren Index den des Kristalls übersteigt, erfolgen.

Der Kristall ist immer so aufzulegen, daß die zwischengeschaltete Flüssigkeitsschicht von parallelen Flächen begrenzt wird, dann ist ihr Einfluß auf die Neigung der Strahlen verschwindend. Um diese Lage auch bei sehr kleinen Kristallflächen zu gewährleisten, hat F. Stöber[1]) einen kleinen Apparat konstruiert, bei dem der Kristall in der Mitte einer ringförmigen, nach außen polierten Glasplatte liegt. Der Kristall sitzt auf einem Träger, welcher kleine Justierungen vorzunehmen erlaubt, sodaß man auf einem Goniometer erkennen kann, ob die Kristallfläche mit der polierten Fläche des Ringes parallel läuft. Ist dies der Fall, so wird der ganze kleine Apparat auf die Basisfläche des Totalreflektometers aufgesetzt.

Bei dem in Fig. 630 dargestellten streifenden Einfall, bei dem man von links her ein Lichtbüschel 1 bis 6 auf die dem Fernrohr gegenüberliegende Seite der Berührungsebenen von Kristall und Halbkugel fallen läßt, werden die Wellennormalen links 1 und 2 nach rechts

[1]) Z. X. **54**. 1915. 273—275.

1 und 2 total reflektiert und nicht weiter verwendet. Die tangierende Wellennormale 3 wird unter dem Grenzwinkel ϱ gebrochen, und die übrigen Normalen, 4, 5 und 6, erfahren teils Reflexion nach rechts oben, teils Brechung nach rechts unten. Stellt man nun ein Fernrohr auf die austretende Richtung 3 ein, so sieht man (Fig. 630 rechts) die untere

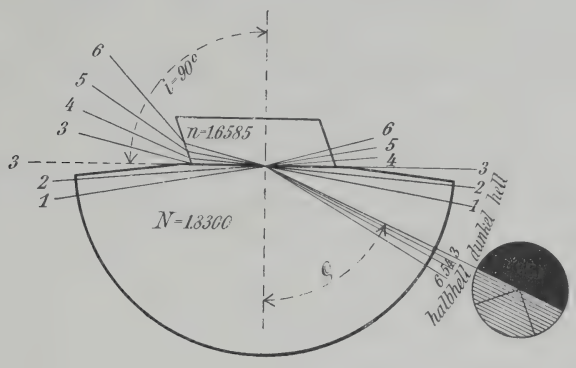


Fig. 630.

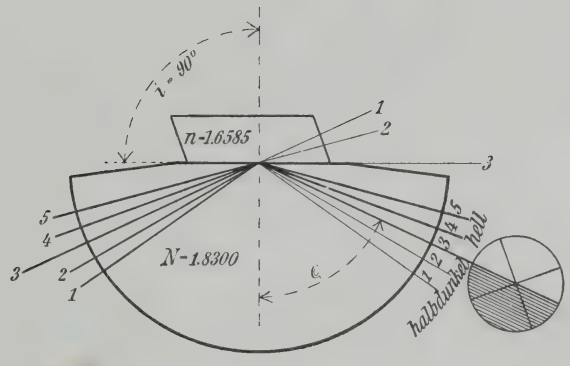


Fig. 631.

Hälfte des Gesichtsfeldes halb hell und die obere Hälfte vollständig dunkel. Infolge der Knickung des Fernrohrs durch das totalreflektierende Prisma im Okular sieht man die Feldbeleuchtung umgekehrt, also bei streifender Inzidenz oben hell und unten dunkel und bei reflektierender Inzidenz oben dunkel und unten hell. Kennt man den Index N des Glases der Halbkugel, so kann man aus dem Winkel ϱ den Index der totalreflektierenden Wellennormale berechnen:

$$n = N \sin \varrho.$$

Eine graphische Lösung dieser Formel läßt sich mit der Tafel auf S. 604 ausführen, eine andere gab A. Hutchinson[1]).

Dispersionen können am Totalreflektometer zuweilen sehr schwach in die Erscheinung treten, wenn auch der Körper, an dem die Totalreflexion beobachtet wird, an sich eine starke Dispersion besitzt. Der Winkel ϱ ist eben abhängig von der Lichtbrechung der Halbkugel (N_C, N_D, N_F) und der Lichtbrechung des zu untersuchenden Körpers (n_C, n_D, n_F). Der Quotient n/N kann dabei fast konstant werden. Bei stark absorbierenden Kristallen wird die Grenze undeutlich, und bei starkem Pleochroismus kann die eine Grenze scharf, die andere sehr verwaschen sein oder überhaupt nicht mehr beobachtet werden. A. Becker hat in seiner Kristalloptik von 1903 S. 309 entsprechende Kurven gezeichnet, die bei durchsichtigen Kristallen einen scharfen Knick und bei stark absorbierenden eine Abrundung erkennen lassen.

Die Umrisse des Kristalls, also seine zur Auflage mehr oder weniger geneigten Seitenflächen, können dem Eintritt der Wellennormalen 3, 4 usw. in Fig. 630 so hinderlich sein, daß zur Hervorbringung eines schmalen, das halbhelle Gesichtsfeld beleuchtenden Büschels ein breites Einfallsbüschel erforderlich ist, oder es können aus Luft überhaupt keine Strahlen in der Weise in das obere Medium eintreten, daß sie inwendig streifend verlaufen. Dies tritt immer bei der konvexen Begrenzung eines Flüssigkeitstropfens ein. Hier empfiehlt es sich nun nicht, wie vorgeschlagen wird, einen kurzen Glaszylinder auf die Halbkugel zu bringen und mit dieser Flüssigkeit zu füllen, damit man für den günstigen Eintritt der Beleuchtung senkrechte Wandungen erhält, vielmehr wählt man in diesem Fall zweckmäßigerweise die zweite Beleuchtungsart, die des reflektierten Lichtes, wie sie in Fig. 631 dargestellt ist. Man bringt hier das Fadenkreuz des Fernrohrs auf die Grenzlinie der partiellen Reflexion. Wenn der Rand des Präparates es irgend ermöglicht, wendet man die erstere Art der Beleuchtung an, da die Grenze zwischen dunkel und halbhell (Fig. 630) deutlicher zu erscheinen pflegt, als diejenige zwischen hell und halbdunkel (Fig. 631), indessen gewöhnt man sich auch bald an die zarteren Unterschiede im zweiten Fall. Der Winkel ϱ ist in beiden Fällen der gleiche, wie aus den Figuren hervorgeht. Bei der Anbringung der Beleuchtung durch Spiegel oder Linse muß man vorsichtig die eine Beleuchtungsart von der andern trennen und also nicht etwa Licht in der Richtung 3, 4, 5 der Fig. 630 gleichzeitig mit Licht in der Richtung 3, 4, 5 der Fig. 631 auffallen lassen, da dann das dunkle Feld der partiellen Brechung oder das halbdunkle Feld der partiellen Reflexion aufgehellt und damit die Grenzlinie verwischt würde. Andererseits soll man auch nicht mit Licht von zu kleiner Apertur beleuchten, weil sonst die Grenze im Gesichtsfeld auf eine schmale Linie zusammenschrumpft. — Die ganze Beleuchtungsoperation, die dem Ungeübten Schwierigkeiten bereiten kann,

[1]) Min. Magaz. **16.** 1912. 236—238.

wird ungemein erleichtert, wenn man sich für sein Instrument eine Tabelle anfertigt, in der für alle Brechungsindizes schon die Winkel der Totalreflexion ausgerechnet sind, sodaß man sieht, mit welcher Stellung des Fernrohrs bzw. des Spiegels man es in dem vorliegenden Fall zu tun hat; im allgemeinen weiß man ja, um welche Brechung es sich ungefähr handelt. Mit einer solchen Tabelle kann man außerdem am einfachsten und schnellsten die zu den Winkeln ϱ gehörenden Brechungsindizes finden.

173. Der Strahlengang bei der Totalreflexion in doppelbrechenden Medien kann zum Teil sehr verwickelt werden.

An einem tetragonalen oder hexagonalen Kristall sei eine Fläche parallel zur Hauptachse angeschliffen, die zur Ermittlung von ε oder ω oder eines mittleren Index dienen soll. Zur Einstellung der Grenze der ordentlichen oder außerordentlichen Welle versieht man das Fernrohr mit einem Analysator. Bei Drehung der Kristallplatte auf der gläsernen Halbkugel (oder besser mit dieser) erhält man Grenzwinkel für alle Wellennormalen oder auch für deren reziproke Werte, d. h. für alle Halbmesser des Durchschnitts der Indexfläche. Die Zeichenebene von

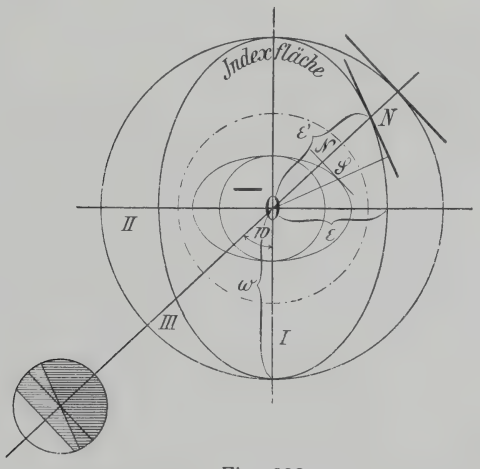


Fig. 632.

Fig. 632 stelle die Schliffläche des Kristalls dar, das Einfallslot stehe im Mittelpunkt O senkrecht, und die Einfallsebenen für alle Azimute liegen senkrecht zur Zeichenebene. Befindet sich das Fernrohr in der Einfallsebene I, also in einem optischen Hauptschnitt, so sieht man im Fernrohr nur eine Grenzlinie, und der Grenzwinkel gibt einen Wert für die ordentliche Welle ω. Liegt das Fernrohr in der Einfallsebene II, also senkrecht zum Hauptschnitt, so erhält man im Gesichtsfeld zwei Grenzlinien, und die zugehörigen Grenzwinkel ergeben Werte für die ordentliche und außerordentliche Welle. In allen Zwischenlagen der

Einfallsebene, wie in III, erhält man außer ω einen Wert ε', der in Fig. 632 der Länge ON entspricht. Bemerkenswert ist hier die schiefe Lage der Grenzlinie, die einer Tangente an die Indexfläche parallel läuft.

An einem Schliff senkrecht zur optischen Achse erhält man die beiden Grenzwinkel für ε und ω, und zwar in jedem Azimut der Einfallsebene. Die hier auftretenden Verhältnisse sind aus Fig. 633 zu ersehen.

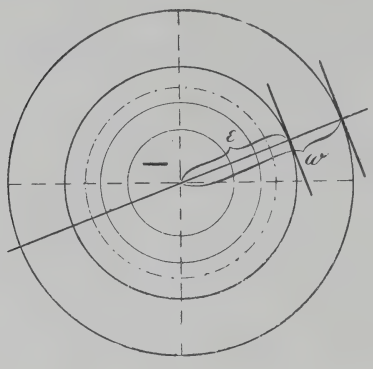


Fig. 633.

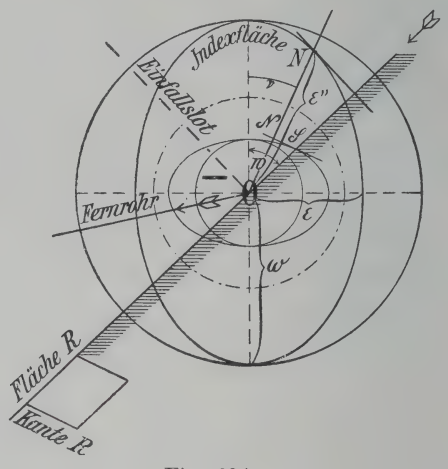


Fig. 634.

An einer Spaltfläche von Kalkspat, deren Neigungswinkel gegen die optische Achse mit $w = 45^0\,23^1/_2{}'$ bezeichnet werde, erhält man einen Grenzwinkel, aus dem sich ein Brechungsindex ε'' berechnet, der sich nach Th. Liebisch als der reziproke Wert des Strahls OS (Fig. 634) darstellt. Unter den hier obwaltenden Beobachtungsverhältnissen erleiden also die Überlegungen, nach denen die durch Beobachtung gefundenen Indizes die reziproken Werte der Wellennormalen sein sollen (vergl. § 24 S. 78 bis 79 und § 27 S. 91) eine Ausnahme. Die Ebene der Fig. 634 läuft einem optischen Hauptschnitt parallel und liegt senkrecht zu einer Rhomboëderfläche. Einfallslot und Fernrohr liegen ebenfalls im optischen Hauptschnitt. Nochmals darf wohl darauf hingewiesen werden, daß bei gleicher Richtung der streifend einfallenden Wellen je nach der Lage des Schliffs verschiedene Werte für den außerordentlichen Index erhalten werden. Bei gleichen Werten von w in Fig. 632 und 634 findet man Grenzwinkel, aus denen sich ε' oder ε'' berechnen.

Von praktischer Bedeutung ist, daß man bei einachsigen Kristallen an jedem beliebig gelegenen Schliff nicht nur den ordentlichen Brechungsindex ω, sondern auch den extremen Wert von ε bestimmen kann. Man muß dazu den Kristall auf der Halbkugel nur so orientieren, daß sein Hauptschnitt senkrecht zur Einfallsebene liegt. In Fig. 628 würde ein solcher Hauptschnitt senkrecht zum Limbus T zu legen sein.

Bei den zweiachsigen Kristallen sind die Verhältnisse viel verwickelter als bei den einachsigen. Man wird in der Praxis die Beobachtungen möglichst auf Flächen beschränken, die einem optischen Hauptschnitt parallel laufen. An jedem Schliff dieser Art lassen sich alle drei Brechungsindizes α, β, γ ermitteln. Man braucht sich nur zu erinnern, daß in einem solchen Hauptschnitt in der Richtung jedes Vektors zwei Wellennormalen hintereinander herlaufen, die sich unter dem Einfluß der beiden andern Vektoren fortpflanzen. Angenommen ein Schnitt liege parallel zu a und c und stehe also senkrecht auf b (vergl. in § 32 Figuren 85 und 93), dann führt die Beobachtung in der Richtung a zu den Brechungsindizes β und γ, in der Richtung c zu den Indizes β und α. Eine solche Platte läßt den Index des Vektors, auf dem sie senkrecht steht, zweimal oder richtiger unendlich mal, nämlich in allen Azimuten, finden, während die andern beiden Indizes nur je einmal und zwar in ganz bestimmten Azimuten gefunden werden. Im übrigen sei wegen dieser zweiachsigen Medien auf die untenstehende Literatur[1]) verwiesen.

Dritter Teil.

Untersuchung auf Kohäsion und Dichte.

Von Kohäsionseigenschaften sind bisher nur Spaltbarkeit und Härte der praktischen Untersuchung zugänglich, während Festigkeit (Widerstand, den ein Körper dem Zerreißen, Zerbrechen, Zerdrehen oder Zerdrücken entgegensetzt), Biegsamkeit und mechanische Elastizität noch keine Verwendung bei der Diagnose finden. Auch in bezug auf scharfe Unterscheidung von spröden und weichen Mineralien ist man noch nicht weit über die Anfangsstadien hinausgerückt.

Erste Abteilung.

Spaltbarkeit und Härte.

174. Spaltbarkeit. Durch die Erschütterung beim Schleifen bilden sich in den mit deutlichem Blätterbruch versehenen Mineralien Risse und Spalten, deren Schärfe und mehr oder weniger stetiger Verlauf durch die größere oder geringere Vollkommenheit der Spaltbarkeit in dem be-

[1]) Th. Liebisch, N. J. 1885 I. 245—253; 1885 II. 181—211; 1886 II. 47—66. Ferner J. Danker, N. J. B. B. **4.** 1886. 241—290. Th. Liebisch, Phys. Kristallogr. 1891. S. 415—427. S. Nakamura, Göttinger Nachr. 1903. 343—352. J. Pockels, Lehrb. d. Kristalloptik 1900. S. 118—134. C. Viola, Z. X. **31.** 1899. 40—48; N. J. 1912 II. 45—66.

treffenden Mineral bedingt wird, während ihre Richtung dem Durchschnitt der Spaltflächen mit der Schliffebene entspricht. E. Cohen gibt an[1]), daß auch durch Glühen der Dünnschliffe bisweilen Spaltrisse entstehen, die durch die mechanische Erschütterung des Schleifens nicht zum Vorschein kamen.

Je vollkommener die Spaltbarkeit eines Minerals ist, desto dichter gedrängt, desto weniger unterbrochen und desto schärfer verlaufen die Spaltrisse in seinen Durchschnitten. Bei weniger vollkommen spaltenden Kristallen pflegen die Spaltrisse spärlicher zu sein, und es ist sehr charakteristisch, daß sie oft mitten im Durchschnitt absetzen und in eine andere parallele Ebene überspringen, während sich zwischen den beiden Spaltrissen ein unregelmäßig verlaufender Sprung einstellt. Es laufen daher in solchen Fällen die Spaltrisse nicht nur nebeneinander, sondern sie anastomosieren vielfach miteinander. Es hängt jedoch die Vollkommenheit der Spaltrisse auch davon ab, unter welchem Winkel die Schlifffläche die Blätterdurchgänge schneidet. Bei senkrechter Lage beider Ebenen zueinander sind die Spaltrisse am schärfsten, bei schiefer Lage, die man leicht durch Senkung des Objektivs erkennt, erscheinen die Spaltrisse wegen der Totalreflexion an den kapillaren Luftschichten zwischen den Trennungsebenen oft breit und dunkel und ihre Ränder sind bisweilen sehr feinzackig. — Die Wahrnehmung der Spaltrisse u. d. M. zumal bei farblosen Mineralien ist oft bei voller Beleuchtung nicht möglich; sie treten erst bei engerer Apertur, etwa durch Senken des Kondensors, deutlich hervor. Die Erklärung findet sich in Paragraph 137 bei Besprechung der Methoden zur Bestimmung der Lichtbrechung S. 557. S. Calderon[2]) hat die Spuren der Spaltflächen durch Tinktionen schärfer hervortreten lassen.

Der Verlauf der Spaltrisse und ihre gegenseitige Lage ist abhängig von der Richtung, in welcher der Schnitt das Mineral trifft. Für diese gegenseitige Lage der Spaltrisse findet man leicht, daß im regulären System bei oktaëdrischer Spaltbarkeit oder im quadratischen und rhombischen System bei pyramidaler Spaltung die verschiedenen Rißsysteme nach zwei, drei oder vier verschiedenen Richtungen verlaufen können. Hat der Schliff die Lage einer Würfelfläche, so müssen zwei sich rechtwinklig kreuzende Rißsysteme auftreten. Hat er die Lage einer Oktaëderfläche, so müssen die Risse sich in drei unter 60° geneigten Richtungen schneiden. Bei anderer Lage des Schliffes können vier Systeme von Rissen in die Erscheinung treten. Spaltbarkeit nach dem Würfel führt zu zwei oder drei Rißsystemen, Spaltbarkeit nach dem Rhombendodekaëder kann an ein und demselben Schliff bis zu sechs verschieden gerichtete Rißsysteme hervorrufen. Im hexagonalen System gibt rhomboëdrische Spaltbarkeit zwei oder drei, prismatische Spaltbarkeit ein oder

[1]) N. J. 1879. 866.

[2]) Boll. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Juni 1907. Ref. Z. X. **49.** 1911. 301—302.

drei Rißsysteme; nur zwei Systeme sollten hier theoretisch nicht auftreten, werden aber häufiger zu beobachten sein, wenn der Schliff gegen eine Spaltfläche sehr wenig geneigt ist, und hier die Spaltbarkeit nicht zum Ausdruck kommt. Prismatische Spaltbarkeit in anderen Kristallsystemen ergibt ein oder zwei Gruppen, pinakoidale Spaltbarkeit immer nur eine einzige Gruppe von parallelen Rissen. Spaltbarkeit nach mehreren Pinakoiden liefert dieselben Erscheinungen, wie eine prismatische Spaltbarkeit, unterscheidet sich von dieser jedoch durch ungleiche Vollkommenheit der Spaltrisse. — In welcher Weise eine gleichzeitige Spaltbarkeit pinakoidaler und prismatischer, beziehungsweise pyramidaler Lage sich mikroskopisch ausdrückt, ergibt sich aus dem Gesagten von selbst. Taf. V Figuren 1 bis 6 und Taf. VI Figuren 1 bis 5 geben Beispiele für die verschiedene Vollkommenheit und gegenseitige Lage der Spaltrisse.

Es ist klar, daß man die Winkel, unter denen sich Spaltflächen schneiden müssen, berechnen kann, wenn man die Lage des Schnitts und den normalen Spaltwinkel kennt; ebenso kann man aus dem im konkreten Falle gemessenen Spaltwinkel, wenn man die Zone kennt, in welcher der Schnitt liegt, die Lage der Schnittfläche bestimmen, und die Zone ist oft auf optischem Wege mit annähernder Sicherheit zu erkennen. Doch macht die unendliche Mannigfaltigkeit der Schnittlagen und die sehr ungenaue Messung der Winkel der Spaltrisse, wenn diese schräg das Präparat durchsetzen, derartige Rechnungen ziemlich wertlos; jedenfalls ist ihre Bedeutung für die Diagnose eine sehr geringe. Man überzeugt sich davon leicht, wenn man die von J. Thoulet[1]) berechneten Schemata genau durchsieht oder praktisch zu verwerten sucht. Neuerdings hat de Souza-Brandão das Problem wieder aufgegriffen, wobei er auch Umrisse, Zwillingslamellierung und zonare Wachstumsformen besonders bei Plagioklasen zur Orientierung zu verwerten sucht[2]).

Auch die Strukturflächen der Translation und der „einfachen Schiebung nach Gleitflächen“ [3]) treten im mikroskopischen Bild häufig in Erscheinung und sind oft von Spaltrissen nicht zu unterscheiden. Fig. 6 auf Tafel XV zeigt die mit Gleitflächen zusammenhängenden Druckfiguren am Biotit. Viele Einzelheiten werden bei den Mineralien im speziellen Teil dieser Physiographie mitgeteilt werden.

Der Bruch der Mineralien hat kein mikroskopisches Phänomen zur Folge; die unregelmäßigen Risse und Sprünge in spaltenden und nicht spaltenden Mineralien sind entweder durch Aggregation bedingt

[1]) Ann. Mines **14.** 1878. 100—120.

[2]) Communicações da direcção dos serv. geol. Lisboa. **4.** 1901. 57—126; Zentralblatt f. Min. 1903. 323—330.

[3]) S. die Zusammenstellung über „Die Struktureigenschaften der Kristalle“ von A. Johnsen in Fortschritte der Mineralogie usw. **3.** 1913. 93—140. Unter neueren Untersuchungen ist u. a. auch die Arbeit „Über künstliche Schiebungen und Translationen“ von K. Veit (u. A. Johnsen) zu erwähnen. N. J. B. B. **45.** 1921. 121—148.

und folgen dann den Grenzen der einzelnen aggregierten Individuen, oder sie entsprechen einer schon vor dem Schleifen vorhandenen inneren Zertrümmerung, die in manchen Fällen durch mechanischen Druck im Gebirge, in andern Fällen durch chemische Prozesse (Spalten im Olivin bei seiner Serpentinisierung u. a.) zur Entwicklung gelangte.

175. Härte pflegt man vielfach zu definieren als den Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines andern entgegensetzt, wobei man das Maß dieses Widerstandes durch Ritzversuche mit den bekannten Mineralien der Mohsschen Härteskala zu ermitteln versucht. Bei den Härtebestimmungen an isoliertem Pulver drückt man nach einem von E. Cohen angegebenen Verfahren die Körner des Pulvers kräftig in die glatt geschnittene Endfläche eines wenige Millimeter dicken Bleistempels, und bedient sich seiner als Handhabe, um Ritzversuche auf den Flächen von Mineralien von bekannter Härte auszuführen. Ungefähre Bestimmungen kann man dadurch erhalten, daß man das Pulver zwischen zwei Objektgläsern reibt und nachsieht, ob diese geritzt werden oder nicht. In letzterem Fall gibt das Knirschen und das leichtere oder schwerere Zerdrücken der Körnchen zwischen den Gläsern Anhaltspunkte zur weiteren Beurteilung der Härte.

C. Lane[1]) hat eine dunkle Härteskala vorgeschlagen, die für farblose Mineralien zweckmäßig ist, da ein weicheres Mineral auf einem härteren einen Strich hinterläßt und ein dunkler Strich leichter sichtbar wird. Er empfiehlt

1. Graphit, 2. Antimonit, 3. Bleiglanz, 4. Eisen (weiche Nägel), 5. Rotnickelkies, 6. Magnetit.

Zur feineren Untersuchung dienen nach dem Vorgang von A. Seebeck[2]) und den Arbeiten von W. J. Grailich und F. Pekárek[3]), sowie von F. Exner[4]) die Sklerometer, die sich aber in der gewöhnlichen Form für unsere Zwecke nicht wohl eignen. T. A. Jaggar sucht diesem Mangel dadurch abzuhelfen, daß er mit seinem Mikrosklerometer den Widerstand mißt, den ein Körper einer Diamantspitze entgegensetzt, die sich unter gleichbleibenden Bedingungen in Berührung mit ihm bewegt und Teilchen seiner Substanz wegnimmt[5]). Mit diesem Instrument lassen sich auch an mikroskopischen Platten Härtebestimmungen ausführen. Weitere Methoden, die mehr oder weniger auf ein Ritzverfahren hinauslaufen, sind von E. Müller[6]), V. Pöschl[7]), H. Z. Kip[8]) und A. L.

[1]) Bull. Geol. Soc. Am. **23.** 1912. 725. Ref. Z. X. **55.** 1915/20. 412.

[2]) Über Härteprüfung an Kristallen. Programm d. Cölln. Gymn. Berlin 1833.

[3]) S.W.A. **13.** 1854. 410—436.

[4]) Untersuchungen über die Härte an Kristallen. Wien, 1873. 160 S.

[5]) Z. X. **29.** 1898. 262—275.

[6]) Über Härtebestimmung. Inaug.-Dissert. Jena 1906. 41 S. und 7 Taf.

[7]) Z. f. wiss. Mikrosk. **26.** 109. 104—110; s. auch V. Pöschl, Die Härte der festen Körper und ihre physikalisch-chemische Bedeutung, Dresden 1909. 84 S.

[8]) Am. Journ. **24.** 1907. 23—32. Ref. N. J. 1909 I. 155—156; Am. Journ. S. **31.** 1911. 96—98. Ref. N. J. 1912 II. 6.

Parsons[1]) ausgearbeitet und zum Teil auch auf Mineralien angewandt worden. In diesen Arbeiten finden sich auch weitere Literaturangaben.

Eine andere Definition der Härte lautet: „Härte ist der Widerstand einer ebenen Fläche gegen Abnutzung“ (Dana). Hiervon ausgehend hat A. Rosiwal nach einem von F. Toula vorgeschlagenen Verfahren vergleichende Studien an Mineralien und Gesteinen ausgeführt[2]). Er nimmt ein Schleifpulver von bestimmter Korngröße und bestimmter Menge und schleift hiermit eine Platte des zu untersuchenden Körpers so lange, bis das Pulver nicht mehr wirkt, bis es, wie man sich ausdrückt, totgeschliffen ist. Der Gewichtsverlust der Platte wird umgekehrt proportional ihrer Härte gesetzt. Auf diese Weise bestätigte Rosiwal in exakterer Weise ältere Angaben, wonach die Unterschiede in der Mohsschen Skala außerordentlich verschieden sind. Setzt man nämlich die Härte des Korunds gleich 1000, so erhält man nach neueren Untersuchungen von Rosiwal[3]) für die andern Mineralien folgende Werte, die er als relative Härte nach der Abschliffgröße bezeichnet und die er teils auf Korund gleich 1000, teils auf Quarz (Basishärte) gleich 100 bezieht. Die nachstehende Tabelle gibt einen kurzen Auszug aus den zahlreichen Rosiwalschen Untersuchungen auf diesem Gebiet.

Härtegrad nach Mohs	Mineral	Untersuchte Fläche	Korund = 1000	Quarz = 100	Härtegrad nach Mohs	Mineral	Untersuchte Fläche	Korund = 1000	Quarz = 100
1	Talk	Aggregat	0,62	0,59	6	Orthoklas	(100)	29,2	27,7
$1^1/_2$	Gips	[001]	0,64	0,61			(010)	27,1	25,7
		(010)	0,37	0,36			(001)	18,1	17,2
2	Steinsalz	(100)	1,24	1,18			[100]	39,2	37,2
		(111)	1,42	1,35	7	Quarz	(0001)	105,5	**100**
3	Kalkspat	(0001)	3,63	3,44			(10$\bar{1}$0)	91,0	86,3
		(10$\bar{1}$0)	2,90	2,74			(10$\bar{1}$1)	77,4	73,4
		(10$\bar{1}$1)	2,02	1,91	8	Topas	(001)	91,4	86,6
4	Flußspat	(100)	3,20	3,05			(110)	127,5	121
		(111)	3,01	2,83	9	Korund	Mittelwert	**1000**	949
5	Apatit	(0001)	3,48	3,30	10	Diamant		90000	85300
		(10$\bar{1}$0)	5,48	5,19					

Die Rosiwalsche Methode wurde von B. Halle[4]) dahin abgeändert, daß er als Schleifplatte nicht Glas, sondern Messing wählte und

[1]) Z. X. **47.** 1910. 363—370. Am. Journ. **29.** 1910. 162—168.

[2]) Verh. K. K. Geol. Reichsanst. 1896. 475—491.

[3]) Verh. K. K. Geol. Reichsanst. 1916. 117—147; s. auch Mitt. Wien. Min. Ges. Ges. Nr. 80. 1917, S. 69—70.

[4]) Deutsch. Mech. Ztg. 1909. 81—84; Z. f. wiss. Mikrosk. **26.** 1909. 424—425. Ref. Z. X. **51.** 1913. 313.

nicht eine bestimmte Menge Schleifmittel verbrauchte, sondern unter fortwährender Zufuhr von frischem Schleifmittel den Gewichtsverlust während einer bestimmten Zeit feststellte.

P. J. Holmquist[1]) erweiterte die Toula-Rosiwalsche Methode vorteilhaft, indem er das zu prüfende Mineral auf der Platte eines andern Minerals als Vergleichsplatte mit Carborundum abschliff und das sich dabei ergebende Verhältnis der Gewichtsverluste am Mineral und an der Vergleichsplatte feststellte. Als „relativen Abnutzungswiderstand" bezeichnet er den reziproken Quotienten, gebildet aus den Volumverlusten (Gewichtsverlusten, dividiert durch die Dichten) der beiden Platten. Er findet nach diesem Verfahren sehr bemerkenswerte Unterschiede in den „Härten" auf verschiedenen Flächen ein und desselben Minerals. So zeigt Topas auf der Basis und auf dem Prisma (Schleifrichtung parallel Prismenachse) einen geringeren relativen Abnutzungswiderstand als Quarz auf der Basis. Setzt man den Abnutzungswiderstand des Quarzes auf der Basis = 1000, so ist er auf seinem Prisma = 900, auf seinem Rhomboëder = 840, während er bei Topas auf der Basis nur 633 und auf den Prisma parallel zur Prismenachse 813 beträgt.

Nach einer dritten von H. Hertz herrührenden Definition soll Härte die Druckfestigkeit eines Körpers bei Berührung seiner ebenen Fläche mit einer Linse sein. Daß es sich hier um etwas ganz anderes handelt, als was die Mineralogen bis dahin als Härte ansahen, hat F. Auerbach nachgewiesen, indem er zeigte, daß unter 14 Glassorten von sehr verschiedener Druckfestigkeit jedes Glas von jedem anderen geritzt wurde[2]). Ein besonders interessantes Ergebnis der Auerbachschen Studien ist die Trennung in spröde und plastische Körper. Bei den ersteren entsteht bei dem Aufeinanderdrücken von Platte und Linse plötzlich ein feiner Sprung, bei den letzteren eine bleibende Vertiefung auf der Platte und eine Abplattung auf der Linse. Zu den ersteren gehört z. B. Quarz, zu den letzteren Steinsalz und Flußspat.

Den Zusammenhang zwischen Härte und Spaltbarkeit hat J. L. C. Schroeder v. d. Kolk näher untersucht[3]), als er die von A. Kenngott aufgestellten Beziehungen zwischen Atomgewicht, Härte und Dichte weiter verfolgte. Er findet, daß die Härte eines Minerals proportional dem Quotienten ist, den man aus Dichte und Molekulargewicht erhält, vorausgesetzt, daß die Härtebestimmung eines Körpers durch seine Spaltbarkeit keine Störung erfährt.

---

[1]) Geol. Fören. i. Stockh. Förhandl. **36.** 1911. 231—311; **36.** 1914. 401—431. Ref. N. J. 1912 II. 5—6 und 1915 II. 302—304 und Z. X. **55.** 1915/20. 98—99.

[2]) Wied. Ann. Phys. **43.** 1891. 61—100; **45.** 1892. 262—291; **53.** 1894. 1000—1038; **58.** 1896. 357—390.

[3]) Verh. K. Akad. Amsterdam. 1901 und 1902. Ref. Zentralbl. f. Min. usw. 1902. 376—380.

Zweite Abteilung.

Dichte.

Erstes Kapitel.

Theoretisches.

176. Definitionen. Eine strenge Ausdrucksweise sollte spezifisches Gewicht und Dichte unterscheiden. **Spezifisches Gewicht** ist ein Gewicht, nämlich das Gewicht der Volumeinheit, also das Gewicht eines Kubikzentimeters in Gramm, und **Dichte** ist eine Zahl, nämlich die Zahl, welche angibt, wieviel mal schwerer ein Körper ist, als ein gleiches Volumen Wasser. Hiernach müßte man bei der Angabe eines spezifischen Gewichtes eigentlich immer das Wort Gramm hinzufügen, also etwa bei Quarz von dem spezifischen Gewicht 2,6507 g, aber bei seiner Dichte nur von der Zahl 2,6507 sprechen, was aber kaum je geschieht. Da erscheint es schon richtiger und überdies auch viel bequemer, die Bezeichnung spezifisches Gewicht durch das Wort Dichte konsequent zu ersetzen.

Die Fehler in der Angabe einer Dichte sind wie bei allen solchen numerischen Größen von der Ausführung abhängig; hier aber bleibt noch eine weitere Fehlerquelle übrig[1]), die man, wie H. Le Chatelier[2]) sich richtig ausdrückt, „lediglich auf die schwankende Definition des Begriffs Dichte“ zurückführen muß. Man sollte überhaupt nicht von der Dichte d schlechtweg reden oder nur dann, wenn es sich um rohe Annäherungen in den Angaben — wie sie in der Petrographie allenfalls, nicht aber in der Mineralogie genügen — handelt, sollte aber sonst immer hinzufügen, auf welche Temperatur des Minerals, des Wassers und bei sehr genauen Bestimmungen auch auf welche Temperatur und welchen Druck der Luft sich die Angabe bezieht. Es mag hier auffallen, daß auch eine Angabe über die Temperatur des Wassers gefordert wird, trotzdem man doch weiß, daß Wasser bei 4° die höchste Dichte erreicht und sich also auch bei dieser Temperatur als sicherster Vergleichskörper darbietet. Es hat sich aber schon längst, zum mindesten bei den Nicht-Physikern, insbesondere bei den Mineralogen und Chemikern die Sitte verbreitet, auch auf anders temperiertes Wasser die Dichte zu beziehen und dabei nicht einmal genaue Angaben über diese Temperatur zu machen. Auf diese Weise erklären sich z. B. Angaben über die Dichte des doch so einheitlich aufgebauten Quarzes, die selbst bei zuverlässigen Beobachtern zwischen 2,648 und 2,660 schwanken.

---

[1]) Die nachfolgenden Darlegungen entnehme ich teilweise einer eben erschienenen Dissertation meines Schülers, des Herrn Dr. L. Ahlers, Über die Dichte von Quarz, Orthoklas, Albit und Anorthit. Inaug.-Dissert. Heidelberg 1922. Z. X. **59.** 1924. 293—332.

[2]) Kieselsäure und Silikate, übersetzt von H. Finkelstein, Leipzig 1920. S. 100.

Eine Bezeichnung d_{t_m/t_w} soll angeben, daß ein Mineral von der Temperatur t_m^0 sich auf Wasser von der Temperatur t_w^0 bezieht. Es soll also dieser Wert d_{t_m/t_w} aussagen, wieviel mal dichter ein Mineral von der Temperatur t_m^0 als Wasser von der Temperatur t_w^0 ist. Bei einer solchen Dichtebezeichnung muß aber noch ferner unterschieden werden, ob sie auf Wägungen in Luft bezogen ist oder auf Vakuum umgerechnet wurde. Bei genaueren Bestimmungen, die über die dritte Dezimale hinausgehen, scheint es eine Regel — allerdings auch nicht mehr als eine Regel — zu sein, die Wägungen auf den luftleeren Raum zu beziehen. Bei den Mineralogen dagegen werden sehr häufig die im Luftraum ausgeführten Wägungen nicht auf Vakuum umgerechnet. Man wird daher, um Verwechslungen zu vermeiden, der obigen d_{t_m/t_w}-Symbolik noch ein l oder v hinzufügen, so daß also bedeutet:

$d_{t_m/t_w/l}$ Dichte eines Minerals von t_m^0 bezogen auf Wasser von t_w^0 bei Wägungen in Luft.

$d_{t_m/t_w/v}$ Dichte eines Minerals von t_m^0 bezogen auf Wasser von t_w^0 bei Wägungen im Vakuum.

Hiernach sollte konsequenterweise eine Dichte, bei der weder die Temperatur des Minerals, noch des Wassers, noch die Art der Wägung in Luft oder im Vakuum angegeben ist mit $d_{?/?/?}$ oder kurz mit d bezeichnet werden.

Man beobachtet immer die Dichte $d_{t_m/t_w/l}$ und wird diese in $d_{0/4/l}$ oder $d_{0/4/v}$ umrechnen wollen. Drückt man diese Definitionen in Worten aus, so lauten sie:

1. $\mathrm{d}_{t_m/t_w/l} = \dfrac{\text{Gewicht von 1 ccm Mineral von } t_m^0 \text{ in Luft von } t_m^0 \text{ und h mm Druck}}{\text{Gewicht von 1 ccm Wasser von } t_w^0 \text{ in Luft von } t_w^0 \text{ und h mm Druck}}$;

2. $\mathrm{d}_{t_m/4/l} = \dfrac{\text{Gewicht von 1 ccm Mineral von } t_m^0 \text{ in Luft von } t_m^0 \text{ und h mm Druck}}{\text{Gewicht von 1 ccm Wasser von } 4^0 \text{ in Luft von } t_w^0 \text{ und h mm Druck}}$;

3. $\mathrm{d}_{0/4/l} = \dfrac{\text{Gewicht von 1 ccm Mineral von } 0^0 \text{ in Luft von } t_m^0 \text{ und h mm Druck}}{\text{Gewicht von 1 ccm Wasser von } 4^0 \text{ in Luft von } t_w^0 \text{ und h mm Druck}}$;

4. $\mathrm{d}_{t_m/4/v} = \dfrac{\text{Gewicht von 1 ccm Mineral von } t_m^0 \text{ im Vakuum}}{\text{Gewicht von 1 ccm Wasser von } 4^0 \text{ im Vakuum}}$;

5. $\mathrm{d}_{0/4/v} = \dfrac{\text{Gewicht von 1 ccm Mineral von } 0^0 \text{ im Vakuum}}{\text{Gewicht von 1 ccm Wasser von } 4^0 \text{ im Vakuum}}$.

Setzt man

Dichte des Wassers bei t_w^0 im Vakuum $= \delta_{t_w}$,

Dichte der Luft bei t_m^0 und h *mm* Barometerstand $= \lambda_{t_m h}$,

Kubischen Ausdehnungskoeffizienten des Minerals $= \alpha$,

so ist

$$\mathrm{d}_{t_m/4/l} = \mathrm{d}_{t_m/t_w/l} \cdot \delta_{t_w};$$

$$\mathrm{d}_{0/4/l} = \frac{\mathrm{d}_{t_m/t_w/l}\,\dfrac{\delta_{t_w} - \lambda_{t_m h}}{1 - \lambda_{t_m h}}}{1 - \alpha \cdot t_m}.$$

$$d_{t_m/4/v} = d_{t_m/t_w/l}\ (\delta_{t_w} - \lambda_{t_m h}) + \lambda_{t_m h};$$
$$d_{0/4/v} = [d_{t_m/t_w/l}\ (\delta_{t_w} - \lambda_{t_m h}) + \lambda_{t_m h}]\ (1 + \alpha \cdot t_m).$$

Die Ableitungen finden sich in der Ahlersschen Dissertation.

Die Werte für die Dichte δ_{t_w} des Wassers bezogen auf das Vakuum sind

$$\delta_{4^0} = 1{,}000000$$

t_w	δ_{t_w}	t_w	δ_{t_w}
0°	0,999868	20°	0,998230
5°	0,999992	25°	0,997071
10°	0,999727	30°	0,995673
15°	0,999126	35°	0,994058

Die Werte für die Dichte $\lambda_{t_m h}$ der Luft bezogen auf Wasser von 4° bei der Temperatur t_m und dem Druck h *mm* Quecksilber sind

Temp. t_m	Druck = h *mm* 700	710	720	730	740	750	760	770
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0°	1191	1208	1225	1242	1259	1276	1293	1310
5°	1170	1186	1203	1220	1236	1253	1270	1287
10°	1149	1165	1182	1198	1215	1231	1247	1264
15°	1129	1145	1161	1177	1193	1210	1226	1242
20°	1110	1126	1141	1157	1173	1189	1205	1221
25°	1091	1107	1122	1138	1153	1169	1185	1200
30°	1073	1088	1104	1119	1134	1150	1165	1180

177. Die Dichte von isomorphen Mischungen. Durch seine klassischen Untersuchungen hat J. W. Retgers gezeigt, daß bei isomorphen Mischungen eine Proportionalität zwischen Dichte und chemischer Zusammensetzung besteht. Kennt man also die Dichten d_1 und d_2 der beiden, eine isomorphe Mischung bildenden Körper, so läßt sich aus der Dichte D einer Mischung deren Zusammensetzung berechnen, wie auch der umgekehrte Weg eingeschlagen werden kann. Nennt man v_1 und v_2 die Teilvolumina, deren Summe gleich 100 gesetzt werden möge, sodaß also v_1 und v_2 die Volumprozente ausdrücken, so kann man folgende Gleichung für die Gewichte g_1, g_2 und G aufstellen:

$$g_1 + g_2 = G$$

oder

$$v_1 d_1 + v_2 d_2 = 100\ D. \qquad (1)$$

Diese Gleichung sagt nichts anders aus, als daß die Teilgewichte der Komponenten gleich dem Gesamtgewicht sein müssen, was ja ohne weiteres verständlich ist.

Oder wenn man es vorzieht, die Mischung in Gewichtsprozenten anzugeben, wobei wieder g_1 und g_2 die Teilgewichte in Prozenten bedeuten sollen, so kann man auch eine Gleichung für die Volumina, aber diese nur unter der Voraussetzung aufstellen, daß bei der Mischung keine Kontraktion und keine Dilatation stattfindet, wenn also eine ungestörte Nebeneinanderlagerung von Baustein neben Baustein erfolgt. Es ist dann

$$v_1 + v_2 = V$$

oder

$$g_1 \cdot \frac{1}{d_1} + g_2 \frac{1}{d_2} = 100 \cdot \frac{1}{D}. \qquad (2)$$

Man pflegt die reziproken Werte der Dichten

$\frac{1}{d_1}$, $\frac{1}{d_2}$ und $\frac{1}{D}$ als spezifische Volumina zu bezeichnen;

sie sind die Volumina der Gewichtseinheit. Die Verwendung dieser spezifischen Volumina bei dem optischen Verhalten isomorpher Mischungen ist in Paragraph 21, S. 66 erläutert.

Drückt man die Volumprozente und Gewichtsprozente nur durch die Zahlen der einen Komponente aus und setzt hierfür v oder g, während die der andern dann $100 - v$ oder $100 - g$ sein müssen, so erhält man für die Dichte D aus den Formeln (1) und (2)

$$D = \frac{d_1 - d_2}{100} \cdot v + d_2$$

und

$$D = \frac{100 \cdot d_1 \cdot d_2}{100\, d_1 + (d_2 - d_1) g}.$$

Nun aber ist es eine verbreitete Gewohnheit, bei den isomorphen Mischungen nicht die Volumprozente oder die Gewichtsprozente, sondern die Molekularprozente anzugeben, wie man denn bei den Plagioklasen z. B. von einer Mischung $Ab_{33}An_{67}$ spricht, worunter man eine Mischung von 33 Molekülen $NaAlSi_3O_8$ und 67 Molekülen $CaAl_2Si_2O_8$ verstanden wissen will. Nennt man, um bei dem Beispiel der Plagioklase zu bleiben, m die Prozentzahl der Anorthitmoleküle, die in dem eben erwähnten Fall also 67 wäre, so ist, wie immer

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Gewicht}}{\text{Volumen}}.$$

Das im Nenner stehende Volumen ist wieder das Gesamtvolumen der Mischung und setzt sich zusammen aus der Summe zweier Produkte, von denen jedes aus der Zahl der Moleküle und dem zugehörigen Molekularvolumen gebildet wird. Das Molekularvolumen ist hier der Quotient aus Molekulargewicht dividiert durch die Dichte. Die Molekularvolumina werden zuweilen auch Aquivalentvolumina genannt.

$$D = \frac{(100 - m)\, M_{Ab} + m \,.\, M_{An}}{(100 - m)\, \frac{M_{Ab}}{d_{Ab}} + m \,.\, \frac{M_{An}}{d_{An}}}.$$

Hier bedeutet also

D die Dichte der Mischung,
d_{Ab} „ „ des reinen Albits,
d_{An} „ „ „ „ Anorthits,
M_{Ab} das Molekulargewicht des reinen Albits ($Na\,Al\,Si_3\,O_8$),
M_{An} „ „ „ „ Anorthits ($Ca\,Al_2\,Si_2\,O_8$).

Isomorphe Mischungen, die in ihren Molekularvolumina sich so wenig unterscheiden, wie dies bei den Plagioklasen der Fall ist, zeigen für eine bestimmte Dichte fast dieselbe Zusammensetzung, ob man diese in Molekularprozenten (33 Moleküle Albit auf 67 Moleküle Anorthit) oder in Volumprozenten (33 Volumina Albit auf 67 Volumina Anorthit) ausdrückt, während bei der Darstellung nach Gewichtsprozenten (33 g Albit auf 67 g Anorthit) sich ganz geringe Unterschiede ergeben [1]).

Wie man nun die Regel zur Berechnung der Lichtbrechung von Mischungen aus den Komponenten auf die analogen Berechnungen bei den chemischen Verbindungen übertragen hat (s. § 22), so hat man auch das Molekularvolumen einer Verbindung aus den Molekularvolumina der am Aufbau sich beteiligenden Oxyde zu berechnen versucht. Man nennt das Molekularvolumen derjenigen Mineralien positiv, bei denen dieses größer ist als die Summe der Volumina der sich am Aufbau beteiligenden Oxyde, wenn also bei der Verbindung eine Dilatation stattgefunden hat. Umgekehrt bezeichnet man das Molekularvolumen als negativ, wenn bei der Verbindung eine Verdichtung eingetreten ist. Diese Bezeichnung rührt von F. Loewinson-Lessing her [2]). F. Becke [3]) hat für die wichtigsten gesteinbildenden Mineralien die beobachteten Molekularvolumina den aus den Oxyden berechneten gegenübergestellt und ist zu Werten gelangt, wie sie in umstehender Tabelle mitgeteilt werden.

Zweites Kapitel.

Methoden zur Bestimmung der Dichte.

Man bestimmt die Dichte mit der hydrostatischen Wage, dem Volumenometer, dem Pyknometer und nach der Suspensionsmethode.

---

[1]) E. A. Wülfing, Berichtigung und Nachtrag zur „Mikroskopischen Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien". Zentralbl. f. Min. usw. 1905. 745 bis 749.

[2]) Studien über die Eruptivgesteine. Mémoires présentés au Congrès géologique internationale. Petersburg. 1899. XIII. 327.

[3]) Über Mineralbestand und Struktur der kristallinen Schiefer. Denkschr. K. K. Akad. Wien. 1903. In Bd. **75.** 1913. 6—32.

Molekularvolumina nach F. Becke.

Mineral	Molekularvolumen beobachtet	Molekularvolumen berechnet	Zeichen	Mineral	Molekularvolumen beobachtet	Molekularvolumen berechnet	Zeichen
Spinell $MgAl_2O_4$	40,6	36,5	+	Sodalith $3NaAlSiO_4 . NaCl$	211,0	204,4	+
Ilmenit $FeTiO_3$	31,7	33,6	—	Nephelin $NaAlSiO_4$	56,5	56,5	±
Hercynit $FeAl_2O_4$	44,4	39,7	+	Leucit $KAlSi_2O_6$	88,0	75,9	+
Brucit H_2MgO_2	24,8	29,3	—	Orthoklas $KAlSi_3O_8$	109,4	98,7	+
Diaspor $H_2Al_2O_4$	36,4	43,2	—	Albit $NaAlSi_3O_8$	100,3	92,0	+
Calcit $CaCO_3$	36,8	73,2	—	Anorthit $CaAl_2Si_2O_8$	101,1	88,0	+
Magnesit $MgCO_3$	27,9	67,3	—	Andalusit Al_2SiO_5	51,8	48,0	+
Dolomit $CaMgC_2O_6$	64,7	140,5	—	Sillimanit Al_2SiO_5	50,2	48,0	+
Siderit $FeCO_3$	29,5	70,5	—	Disthen Al_2SiO_5	44,4	48,0	—
Forsterit Mg_2SiO_4	43,9	45,4	—	Staurolith $HFeAl_5Si_2O_{13}$	123,0	132,1	—
Fayalit Fe_2SiO_4	47,3	51,8	—	Cordierit $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$	233,0	187,0	+
Monticellit $CaMgSiO_4$	51,9	51,3	+	Grossular $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$	125,8	145,2	—
Wollastonit $CaSiO_3$	41,5	40,0	+	Almandin $Fe_3Al_2Si_3O_{12}$	119,8	137,1	—
Enstatit } $MgSiO_3$	64,0	68,2	—	Pyrop $Mg_3Al_2Si_3O_{12}$	118,0	127,5	—
Hypersthen } $FeSiO_3$	72,5	74,6	—	Demantoid $Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$	132,2	150,3	—
Diopsid $CaMgSi_2O_6$	68,0	74,1	—	Zoisit $HCa_2Al_3Si_3O_{13}$	137,0	149,6	—
Hedenbergit $CaFeSi_2O_6$	72,0	77,3	—	Klinozoisit $HCa_2Al_3Si_3O_{13}$	135,9	149,6	—
Akmit $NaFeSi_2O_6$	67,0	71,3	—	Vesuvian $H_4Ca_{12}Al_6Si_{10}O_{43}$	474,9	546,0	—
Jadëit $NaAlSi_2O_6$	61,4	69,2	—	Chrysotil $H_4Mg_3Si_2O_9$	113,0	115,5	—
Anthophyllit $Mg_4Si_4O_{12}$	135,0	136,4	—	Antigorit $H_4Mg_3Si_2O_9$	109,0	115,5	—
Tremolit $CaMg_3Si_4O_{12}$	135,0	142,3	—	Talk $H_2Mg_3Si_4O_{12}$	142,4	143,1	—
Glaukophan $Na_2Al_2Si_4O_{12}$	136,4	143,6	—	Chloritoid $H_2FeAl_2SiO_7$	69,6	80,5	—
Mejonit $Ca_4Al_6Si_6O_{25}$	326,8	281,2	+	Muskovit $H_2KAl_3Si_3O_{12}$	140,0	142,0	—
Marialith $Na_4Al_3Si_9O_{24}Cl$	330,6	328,3	+	Perowskit $CaTiO_3$	42,0	36,3	+
Gehlenit $Ca_3Al_2Si_2O_{10}$	160,5	122,4	+	Titanit $CaTiSiO_5$	55,6	59,1	—

178. Die hydrostatische Wage findet bei der Bestimmung der Dichte der Mineralien selten Anwendung, weil man nicht häufig in die Lage kommt, reine Stücke von solcher Größe, wie sie hier erforderlich sind, zu untersuchen. Wenn auch die für den Petrographen wünschenswerte Genauigkeit in der Bestimmung der Dichte nicht besonders hoch ist, so genügt die hydrostatische Wage doch nur bei Stücken, die erheblich mehr als 1 g wiegen. Bezeichnet man die richtigen Zahlen für die Dichte mit d, für das Gewicht in Luft mit g, für das Gewicht unter Wasser mit g' und die zugehörigen Fehler mit Δ, f und f', so lautet die Gleichung für die Fehlerberechnung

$$d \pm \Delta = \frac{g \mp f}{g \mp f - (g' \pm f')}.$$

Nimmt man z. B. an, daß die Wägungen der Substanz in Luft mit einem Fehler von ± 0,0002 g und unter Wasser mit ± 0,0005 g behaftet seien, so kann das Endresultat bei 1 g Substanz und bei verschiedenen Dichten folgendermaßen fehlerhaft ausfallen:

Wirkliche Dichte:	2,500	3,500	5,000	10,000	20,000
Gefundene „	2,504	3,508	5,017	10,068	20,280.

Bei dieser Substanzmenge von 1 g läßt sich somit nur für die leichtesten Mineralien der Bestimmungsfehler innerhalb der wünschenswerten Grenze von einigen Einheiten der dritten Dezimale halten; bei größeren Mengen, also besonders bei Gesteinen, kann aber diese Methode, mit der nötigen Vorsicht angewandt, recht gute Resultate ergeben. Will man auch grobes Pulver nach dieser Methode bestimmen, so bringt man es nach S. L. Penfield[1]) in eine möglichst kleine, unten geschlossene und oben mit einem Platindraht versehene Glasröhre (Fig. 635), in der es zum Austreiben der Luft sorgfältig mit Wasser gekocht wird. Außer dem gefüllten wird auch das leere Gläschen unter Wasser gewogen.

179. Das Volumenometer eignet sich besonders zur Bestimmung der Dichte poröser oder solcher Körper, die nicht mit Wasser oder einer andern Flüssigkeit in Berührung gebracht werden dürfen. Es verlangt allerdings immer eine Menge von mindestens einigen Kubikzentimetern an Material und wird also bei Mineralien kaum, dagegen bei Gesteinen, und zwar vor allem bei sehr lockeren Gesteinen, häufiger als bisher geschehen zu verwenden sein.

Von den mannigfachen Konstruktionen ist die Paalzowsche in Fig. 636 abgebildet[2]). Dieser Apparat besteht aus einem mit aufgeschliffenem, luftdicht schließendem Deckel G versehenen Gefäß A, in das in einem passenden Einsatzgefäß die zu untersuchende Substanz gebracht wird. An diesen Behälter schließt sich unten ein in der Mitte erweitertes,

[1]) Z. X. **26.** 1896. 136.
[2]) Wied. Ann. Phys. **13.** 1881. 232—235.

mit 2 Marken m und m_1 versehenes Rohr B an, das weiter unten in einen mit Quecksilber gefüllten Kautschukschlauch C übergeht, der die beiden Rohre B und D miteinander verbindet. Der Deckel G trägt oben den Hahn H, durch den getrocknete Luft ein- und austreten kann. Die Gefäße A und B sind an einem Stativ befestigt, an dem sich Rohr D mittelst Schlitten und Mikrometerschraube an einer Millimeterskala verschieben läßt. Der Rauminhalt des Rohrteils zwischen den Marken m und m_1, der mit a bezeichnet sei, wird durch Wägung des ihn füllenden

Fig. 635.

Wägeröhrchen für Dichtebestimmungen nach S. L. Penfield.

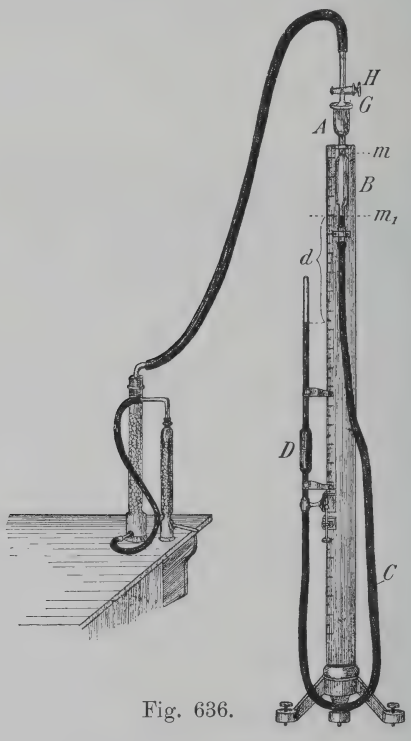


Fig. 636.

Volumenometer nach Paalzow.

Quecksilbers ein für allemal ermittelt. Zur Bestimmung der Dichte eines Körpers bringt man zunächst in den Behälter A das Einsatzgefäß, das später das zu untersuchende Pulver aufnimmt, und verschiebt bei aufgesetztem Deckel und geöffnetem Hahn H das Rohr D so lange, bis das Quecksilber an der oberen Marke m steht. Man schließt nun den Hahn und senkt das Rohr D, bis das Quecksilber in B bei der unteren Marke m_1 angelangt ist. An der Teilung des Stativs liest man die Druckdifferenz d ab. Wird nun das Volumen des Behälters A (bei eingesetztem Gefäß) vom Hahn H bis zur oberen Marke m mit v_o und der Barometerstand mit p_o bezeichnet, so ist

$$v_o\, p_o = (a + v_o)\,(p_o - d)$$

oder $$v_o = a \frac{p_o - d}{d}.$$

Zur Kontrolle bringt man das Rohr D in die erste Stellung zurück und sieht, ob das Quecksilber wieder bei m steht; sollte dies nicht der Fall sein, so wäre bei der Verdünnnng etwas Luft durch Deckel oder Hahn oder aus dem Quecksilber in den Behälter A getreten. Nachdem v_o auf diese Weise recht sorgfältig bestimmt wurde, bringt man in das Einsatzgefäß den zu untersuchenden Körper und stellt nun von neuem das Quecksilber zuerst bei offenem Hahn bis zur Marke m und dann bei geschlossenem Hahn durch Senkung des Gefäßes D bis zur Marke m_1 ein. Die Druckdifferenz betrage jetzt d_1 und das Luftvolumen im Gefäß A sei $v_o - x$, wo x das Volumen des hineingebrachten Körpers ist. Nennt man wieder p_o den Barometerstand, so folgt

$$(v_o - x) \cdot p_o = (a + v_o - x)(p_o - d_1)$$

oder $$x = a \left(\frac{p_o - d}{d} - \frac{p_o - d_1}{d_1} \right).$$

Nach Kenntnis dieses Volumens x ist nur noch das absolute Gewicht des eingebrachten Körpers zu bestimmen, um die Dichte zu erhalten.

Ein anderes, von A. Oberbeck sehr sinnreich konstruiertes Volumenometer[1]) bedarf vielleicht noch einiger technischer Verbesserungen, um den oben beschriebenen Apparat zu ersetzen. Es besteht aus zwei verschiedenen Räumen, die anfänglich mit Luft von Atmosphärendruck gefüllt sind und die durch zwei Zusatzvolumina vergrößert werden, wobei der Druck in beiden Räumen sinkt. Waren diese ursprünglich gleich groß, so kann man sie dadurch ungleich machen, daß man in den einen den zu bestimmenden Körper vom Volumen x bringt. Verringert man jetzt wieder die Drucke, so sind hierzu verschiedene Zusatzräume erforderlich, woraus sich das Volumen x berechnen läßt. Einzelheiten sind in der Originalarbeit nachzulesen.

Zu den Volumenometern kann man auch das „Densivolumêtre“ von J. Escard[2]) rechnen, das die Aufgabe löst, das Volumen eines Körpers durch Änderung des Niveaus der Säule einer Flüssigkeit, in die der Körper gebracht wird, zu bestimmen. Auch hier bedarf man, um brauchbare Werte zu erhalten, wieder einer Menge von einigen Kubikzentimetern; man wird daher den Apparat mehr bei Gesteinen als bei Mineralien verwenden. Eine im Prinzip ähnlich wirkende, mit einer Skala versehene Röhre von etwa 5 mm lichter Weite wurde von H. Le Chatelier und F. Bogitsch[3]) vorgeschlagen. Man bringt das von Staub befreite Mineralpulver in die betreffende Flüssigkeit. Die Resultate

[1]) Wied. Ann. Phys. **67.** 1899. 209—216.
[2]) C. R. **154.** 1242—1244. Ref. N. J. 1914 II. 173.
[3]) C. R. **163.** 1916. 459—463. Ref. N. J. 1918. 118.

werden sehr ungenau bei der Verwendung von Wasser[1]), wegen der anhaftenden Luftbläschen, erreichen aber eine vollkommen genügende Präzision, d. h. eine Genauigkeit bis auf wenige Einheiten der dritten Dezimale, wenn man an Stelle des Wassers eine gut benetzende Flüssigkeit, wie Tetrachlorkohlenstoff oder Benzol oder „essence minérale“ nimmt.

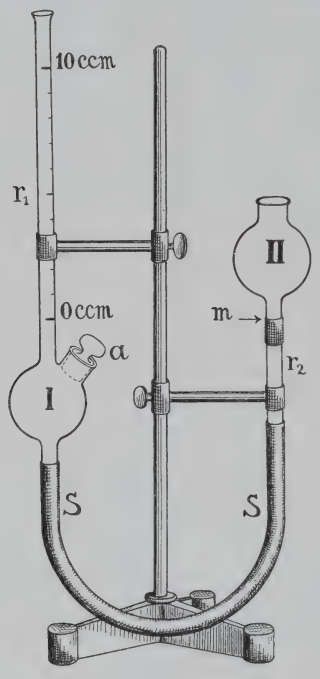


Fig. 637.
Densivolumeter nach Escard.

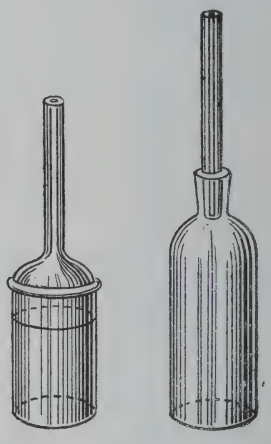


Fig. 638.
Pyknometer für Mineralogen (wirkliche Größe).

Das pulverisierte Mineral muß durch Sieben oder durch Waschen von dem feinsten Staub befreit werden und zweckmäßigerweise eine Korngröße von $^1/_{10}$ bis $^1/_2$ mm Durchmesser haben. Bei dem kleinen Lumen des Röhrchens nimmt 1 ccm eine Höhe von etwa 50 mm ein. Man kann daher bei Ablesung bis auf 0,1 mm der Skala das Volumen bis auf 0,002 ccm genau bestimmen, und bei Ablesung mit einer Lupe leicht bis zur doppelten Genauigkeit gelangen.

Bei dem Escardschen Densivolumeter (Fig. 637) hat man zwei durch einen Schlauch S verbundene Gefäße I und II, von denen das erstere in ein mit Skala versehenes Röhrchen r_1 ausläuft. Man wird

[1]) Dieses Verfahren hatte W. Mackie schon 1903 zur Schätzung der Dichte von Gesteinen vorgeschlagen, als er einige Gramm des betreffenden Gesteins in der passenden Korngröße in eine mit Wasser teilweise gefüllte Bürette eintrug und das Niveau vorher und nachher ablas. Geol. Mag. New Ser. Dec. IV. **10.** 503—504. London 1903. Ref. N. J. 1906 I. 46.

zweckmäßig dieses Röhrchen, nicht wie Escard in zwanzigstel Kubikzentimeter, sondern etwas empfindlicher, wie das Röhrchen von Le Chatelier einteilen, so daß man aus einem Niveauunterschied von etwa $^1/_{10}$—$^1/_{20}$ mm einen Volumenunterschied von 0,002—0,001 ccm ablesen kann. Man füllt das Gefäß I, Schlauch S und Röhrchen II so weit, daß in r_1 die Flüssigkeit bei der Marke o steht und rechts mit der Marke m genau übereinstimmt. Um dies schnell zu erreichen, ist r_2 mit einer verschiebbaren Hülse m versehen. Nach dieser Einstellung senkt man II bis I sich entleert hat, öffnet den Stopfen a, bringt den zu bestimmenden Körper in I, schließt a und hebt II bis die Flüssigkeit in r_2 wieder bis zur Marke m gesunken ist. Jetzt steht die Flüssigkeit in Rohr r_1 zwischen 0 und 10 ccm und läßt das Volumen des eingebrachten Körpers ablesen.

180. Das Pyknometer erlaubt, die Bestimmung an kompakten Stücken und an gröberem Pulver auszuführen. Nennt man

d die gesuchte Dichte des Minerals,
g das Gewicht des Minerals,
P das Gewicht des mit Flüssigkeit gefüllten Pyknometers,
P' das Gewicht des die Flüssigkeit und das Mineral enthaltenden Pyknometers,

so berechnet sich die Größe d nach der Formel

$$\mathrm{d} = \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{P} + \mathrm{g} - \mathrm{P}'}.$$

Die aus den Gesteinen isolierten Mineralien liegen gewöhnlich in kleinen Mengen vor, ein genaueres Arbeiten ist daher geboten und eine sorgfältige Temperaturbeobachtung ebenfalls erforderlich; man muß sich deshalb über die Fehlerquellen und ihre Größen genau orientieren. Je kleiner und starrer das Gefäß, umso leichter seine konstante Füllung. In nebenstehender Fig. 638 sind zwei Modelle in Originalgröße abgebildet, deren jedes nur ein Volumen von 2—3 ccm hat. Das eine mit enger Öffnung ist für Pulver, das andere mit weiter Öffnung für größere Stücke bestimmt. Wo es angeht, wird man das erstere wählen, da die konstante Füllung des andern wegen des großen Stopfens, der selbst bei sorgfältigster Handhabung bald etwas tiefer, bald weniger tief eingesetzt wird, größere Schwierigkeiten bereitet. Um die wegen der Volumänderung der Flüssigkeiten bei verschiedenen Temperaturen nicht leicht zu erreichende konstante Füllung schneller zu erhalten, schlägt L. G. Eakins vor[1]), den kapillaren Raum dieses Stopfens mit einer Skala zu versehen und zu kalibrieren, und den Wert jedes Skalenteils in Gramm Wasser ein für allemal zu bestimmen. Auf diese Weise kann man den Inhalt des gefüllten Pyknometers berechnen, auch wenn dieses nicht genau bis zu dem in der Mitte der Skala liegenden 0-Punkt gefüllt ist.

[1]) Hillebrand-Zschimmer, Prakt. Anl. z. Analyse usw. Leipzig 1899. 21.

Das oft sehr hartnäckige Anhaften kleiner Luftbläschen an dem der Bestimmung unterworfenen Pulver hat G. E. Moore[1]) schon 1870 dadurch beseitigt, daß er das Pyknometer vorübergehend mit einem ausgebauchten, teilweise mit ausgekochtem Wasser gefüllten Röhrchen, wie dies Fig. 639 zeigt, verbindet. Der ganze Apparat wird mit der Wasserstrahl-Luftpumpe evakuiert und alsdann so geneigt, daß das in der Vorlage befindliche Wasser in das Fläschchen fließt und hier das Pulver ohne die geringste Schaumbildung benetzt.

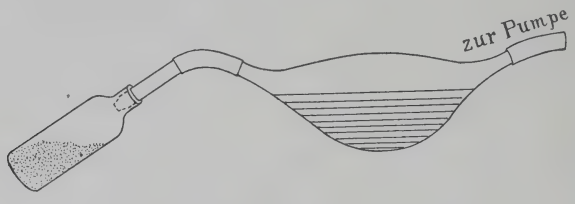


Fig. 639.
Vorrichtung zum Füllen der Pyknometer nach G. E. Moore.

Der bekannte große Vorzug der Pyknometermethode besteht in der Vielseitigkeit ihrer Anwendung; es können Körper von jeder Dichte untersucht werden, nur soll das Material in nicht zu feinem Pulver vorliegen.

181. Die Suspensionsmethode (Schwebemethode) findet sich in ihrem sehr einfachen Grundgedanken schon 1806/07 bei Humphry Davy[2]), als er die Dichte des Natriums in einer Mischung von Naphta und Sassafrasöl, sowie bei L. Dufour[3]), als er 1860 die Dichte des Eises in einer Mischung von Petroleum und Chloroform bestimmte. Eingehend hat sich mit ihr V. Goldschmidt[4]) beschäftigt, als er die Verwendbarkeit der zuweilen nach ihm, zuweilen nach Thoulet benannten Kaliumquecksilberjodidlösung untersuchte (s. auch w. u. S. 685). Die Methode besteht in der Anwendung zweier mischbarer Flüssigkeiten, von denen die eine dichter, die andere weniger dicht als der zu untersuchende Körper ist. Dieser wird in die schwerere Flüssigkeit, die ihn natürlich nicht angreifen darf, gebracht. Er schwimmt zunächst an deren Oberfläche und gelangt erst durch passenden Zusatz der leichteren Flüssigkeit und durch ein kräftiges Mischen ins Schweben, und zwar so, daß er an jeder Stelle, wohin man ihn stößt, schweben bleibt und weder an die Oberfläche steigt noch zu Boden sinkt. Ein solches Schweben-

[1]) Journ. prakt. Chem. **110.** 1870. 326; s. auch W. F. Hillebrand, The analysis of silicate and carbonate rocks. Bull. U. S. G. S. Nr. 305. 1907. 44.

[2]) Phil. Trans. 1808. 21; s. auch Ostwalds Klassiker Nr. 45 (1893). 68.

[3]) Arch. Sc. phys. **8.** 1860. 108.

[4]) N. J. B. B. **1.** 1881. 179—238; s. ferner V. Goldschmidt, Bestimmung des spezifischen Gewichts der Mineralien. Ann. K. K. Hofmuseum **1.** 1886. 123—134 und Über das spezifische Gewicht von Mineralien. Verh. K. K. Geol. Reichsanstalt. 1886. 439—445.

bleiben kann man bei etwas größeren Stücken kaum für eine Minute erreichen, indessen genügt schon ein Bruchteil dieser Zeit, um sicher zu sein, daß die Dichte der Flüssigkeit bis auf die dritte Dezimale mit der des Körpers übereinstimmt, falls dieser nicht erheblich kleiner als ein Kubikmillimeter ist. Bei sehr kleinen Körnern, deren Größe bis auf $^1/_5$ mm heruntergehen darf, und bei zäheren Lösungen muß man etwas länger warten. Die Arbeit des Einstellens der Gemische wird sehr erleichtert, wenn man vorher durch eine kleine Rechnung einen Begriff von der erforderlichen Menge an Verdünnungsmittel erhält. Die Dichte d_1 und das Volumen v_1 der konzentrierten Flüssigkeit sei näherungsweise bekannt, ebenso die Dichte d_2 des Verdünnungsmittels. Dann findet man nach Formel (1) S. 669 das Volumen v_2, sodaß v_1 und v_2 vereint ein Gemisch mit der gewünschten Dichte D ergeben. Es ist

$$v_2 = v_1 \cdot \frac{d_1 - D}{D - d_2}.$$

Die Formel hat hier zwar wegen der Kontraktionen (s. S. 686) keine strenge Gültigkeit, kann aber zur vorläufigen Einstellung vollkommen genügen. Wenn man beispielsweise 50 ccm einer Clericischen Lösung (s. weiter unten) von der Dichte $d_1 = 4{,}2$ durch einen Wasserzusatz auf die Dichte $D = 3{,}7$ bringen möchte, so findet man sehr bald, daß hierzu

$$v_2 = 50 \cdot \frac{4{,}2 - 3{,}7}{3{,}7 - 1} = 9{,}1 \text{ ccm}$$

erforderlich sind. Ein derartiges rechnerisches Vorarbeiten hat — für den weniger Geübten wenigstens — viele Vorzüge vor den rein tastenden Versuchen. Ebenso wird die scheinbar mühsame Arbeit der letzten Feineinstellung der Lösung ungemein beschleunigt, wenn man auch hier wieder nach ähnlichen Überlegungen arbeitet, indem man die ungefähre Menge seines vorhandenen Gemisches, worin das Mineral beinahe schwebt, kennt und eine konkrete Vorstellung über den Einfluß, sagen wir des Zusatzes von einem Tropfen Wasser hat. So werden z. B. 40 ccm Thouletscher Lösung von der ungefähren Dichte 3,160 durch einen Tropfen Wasser (ca. $^1/_{20}$ ccm) um die Dichte 0,003 verringert, denn es ist nach der obigen Formel

$$D = \frac{40 \cdot 3{,}160 + 0{,}05 \cdot 1}{40 + 0{,}05} = 3{,}157.$$

Hat man nun dieses Gleichgewicht zwischen Körper und Flüssigkeitsgemisch sorgfältig hergestellt, was bei systematischem Arbeiten sehr schnell gelingt, so bleibt nur übrig, die Dichte dieser Flüssigkeit zu bestimmen. Man erreicht dies am sichersten und einfachsten, wie es E. Cohen vorschlug[1]), mit einer von Mechaniker G. Westphal in Celle,

[1]) N. J. 1883. II. 87—89.

Prov. Hannover, sehr zweckmäßig konstruierten hydrostatischen Wage. Dieselbe (Fig. 640) besteht aus dem bei l in einem Lager ruhenden Wagebalken f, der nach links in eine Spitze ausläuft, deren Stellung an der Skala bei a abgelesen werden kann. Bei horizontaler Stellung des Balkens muß die Spitze auf den Nullpunkt der Skala eingestellt sein. Der kleine Ausschlag nach oben, wie er zufällig in Fig. 640 zu sehen ist, mag einer zu geringen Dichteangabe der Wage von 0,001 bis 0,002 entsprechen. Der Balken f ist von seiner Schneide bei l bis zum Häkchen h

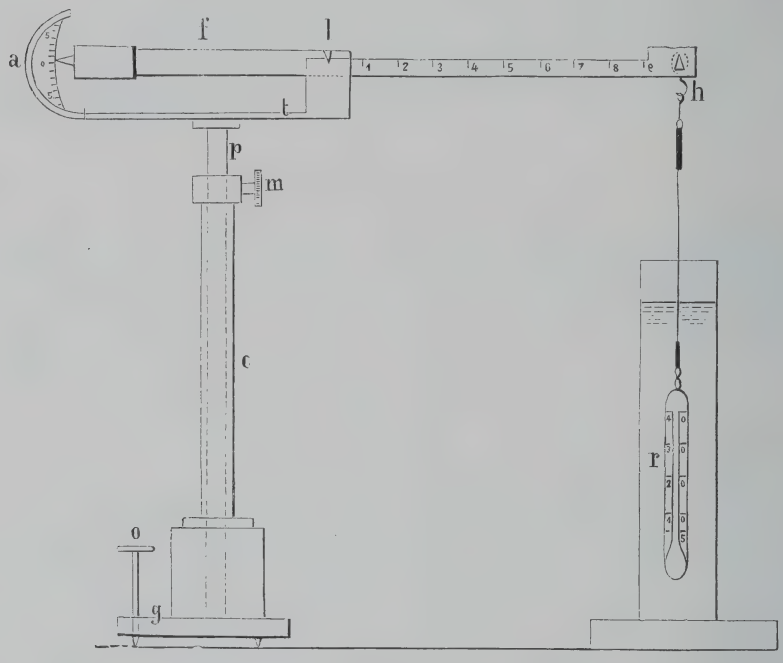


Fig. 640.
Westphalsche Wage von G. Westphal.

in 10 gleiche Teile geteilt. Der Träger t des Wagebalkens ist fest mit der Skala a verbunden und senkt sich mit seinem Stiel p in den Hohlzylinder c, worin er vermittelst der Schraube m in jeder Höhe festgeklemmt werden kann. Dieser Hohlzylinder endet nach unten in einen massiven Fuß, der auf der kreisrunden Platte g ruht, die vermittelst der Schraube o in genau horizontale Lage gebracht werden kann. An das Häkchen h wird der Senkkörper r angehängt, der in die Flüssigkeit eintaucht. Die in Reiterform angefertigten Gewichte, die dem Auftrieb der Flüssigkeit entgegenwirken und die Gleichgewichtslage des Balkens herstellen, werden, soweit sie ganze Zahlen der Dichte bedeuten, an das Häkchen h gehängt. Die zur Angabe der Dezimalen bestimmten Reiter

werden auf den Wagebalken zwischen l und h aufgesetzt, ihr wirksames Gewicht wird an der Skala dieses Balkens abgelesen. Angenommen, der Balken spiele auf den Nullpunkt der Skala a ein, wenn zwei der Reiter am Häkchen h hängen, wenn der für die Angabe der ersten Dezimale bestimmte Reiter auf 8, der kleinere für die zweite Dezimale bestimmte dagegen zwischen 4 und 5 in der Mitte sitzt, so ist die Dichte der Flüssigkeit = 2,845. Zum leichteren Verständnis kann man vorübergehend annehmen, der Senkkörper habe ein Volumen von genau 1 ccm. In diesem Fall müßte der größte Gewichtshaken ein Gewicht von 1,000 g, der zweitgrößte ein solches von 0,100 g, der drittgrößte ein solches von 0,010 g haben, wenn die Wage auf Wasser von 4° geeicht wäre. Tatsächlich pflegt man aber diese Westphalschen Wagen auf Wasser von 15°C zu eichen. Sie stellen sich also auf den Nullpunkt ein, wenn bei dem Eintauchen des Senkkörpers und dem Aufhängen des Einheitshakens am Ende des Balkens nicht Wasser von 4°, sondern von 15° genommen wird. Dieser Haken hat aber dann, bei den oben angenommenen Senkkörperdimensionen von 1 ccm, das Gewicht nicht von 1,0000 g, sondern nur von 0,9991 g; und so haben die andern Haken auch entsprechend kleinere Gewichte. Eine auf 15° geeichte Wage muß bei andern Temperaturen Dichtewerte zeigen, die in der nachstehenden kleinen Tabelle unter d_w angegeben sind, wenn d die der jeweiligen Temperatur entsprechende richtige Dichte des Wassers bedeutet.

Temp.	d	d_w
4°	1,00000	1,0009
15°	0,99913	1,0000
20°	0,99823	0,9991
25°	0,99707	0,9979
30°	0,99567	0,9965
35°	0,99406	0,9949

Um mit einer solchen auf 15° geeichten Westphalschen Wage die Dichte $d_{t_m/4/l}$ (s. § 176) zu erhalten, sind die mit der Wage gefundenen Zahlen d_w mit einem Quotienten d/d_w zu multiplizieren, oder es sind die Beobachtungswerte d_w um 0,09 % zu erniedrigen. Man hat also jeden gefundenen d_w-Wert mit 0,9991 zu multiplizieren. Bei einem Mineral von der Dichte des Quarzes würde dies eine Verminderung der Dichte um zwei Einheiten der dritten Dezimale ausmachen.

Besitzt man keine Westphalsche Wage, so gießt man die auf das Mineral eingestellte Flüssigkeit in ein kalibriertes und tariertes Glasgefäß von 20—25 ccm Inhalt, füllt genau bis zur Marke und wiegt. Das Gewicht geteilt durch den Inhalt gibt direkt die Dichte. Man wird diese Bestimmung vorsichtigerweise mehrmals wiederholen. Beide Methoden

geben sehr zuverlässige Resultate. Bei der Westphalschen Wage muß man darauf achten, daß an dem Senkkörper kein Luftbläschen haftet. Dieses würde bei 1 Kubikmillimeter Größe — also bei einer Dimension, die man ohne weiteres wahrnimmt, — und bei den oben angenommenen Maßen des Senkkörpers eine Dichte von 2,5—3,0 um drei Einheiten der dritten Dezimale zu klein finden lassen.

Zuweilen empfiehlt sich ein etwas rasches Arbeiten mit der Wage, weil die einzelnen Flüssigkeiten der Gemische, wie z. B. Jodmethylen und Benzol, verschieden schnell verdunsten. Das Arbeiten mit einer solchen Wage führt sehr schnell zum Ziel, weil die durch Temperaturschwankungen bedingten Fehler wegfallen, die bei Benutzung des kalibrierten Glasgefässes nicht zu vernachlässigen wären. Man hat nur darauf zu achten, daß in der kurzen Zeit während des Schwebens des Korns und des Arbeitens mit der Wage keine Temperaturschwankung stattfindet; denn wenn auch einmal diese beiden Bestimmungen bei etwa 10°, ein andermal bei etwa 20° ausgeführt werden, so erhält man doch das gleiche Resultat, weil die Ausdehnung der Mineralien sehr annähernd gleich der Ausdehnung des aus Glas bestehenden Senkkörpers der Westphalschen Wage ist.

R. P. D. Graham[1]) benutzt die Indikatoren, die weiter unten (S. 707) näher beschrieben sind, zur genauen Bestimmung der Dichte eines Minerals, indem er einige in ihrer Dichte dem Mineral benachbarte Indikatoren in die Lösung bringt und nun durch quantitatives Zusetzen des Verdünnungsmittels mit einer Bürette diese und das Mineral nacheinander zum Schweben bringt. Durch Interpolation auf graphischem Wege gelangt er dann zu dem genauen Wert der Dichte des betreffenden Minerals.

Man hat auch vorgeschlagen[2]), die Dichte der Lösungen aus deren Brechungsindex abzuleiten. Diese Methode ist aber mit Vorsicht zu gebrauchen, weil die schweren Lösungen nicht genau in derselben Weise präpariert werden und dabei keinen ganz eindeutigen Zusammenhang zwischen Dichte und Lichtbrechung aufweisen. Kennt man die hier in Betracht kommenden Eigenschaften seiner Lösung, so mag dieser Weg keine Hindernisse bieten. Nur muß man sich vorher die Sicherheit verschafft haben, daß der Glaskörper des Totalreflektometers, das zur Bestimmung der Lichtbrechung hier allein in Frage kommt, durch die schweren Lösungen mit der Zeit nicht angegriffen wird.

Über eine Methode zur Bestimmung der Dichte fester Körper in schweren Lösungen mit Hilfe des Dilatometers sei auf zwei Arbeiten von

---

[1]) Die Arbeit ist mir nur aus einem kurzen Referat N. J. 1921 II. 9 bekannt geworden. Sie steht in Trans. Roy. Soc. Canada. **9.** 1917. 51–53 und Ref. Min. Magaz. **19.** 1920. Abstr. 14.

[2]) H. E. Merwin, A method of determining the density of minerals by means of Rohrbachs solution having a standard refractive index. Am. Journ. **32.** 1911. 425—428. Ref. Z. X. **53.** 1914. 631.

J. L. Andreae verwiesen[1]). Der Verfasser sucht die kleinen Schwankungen, die in der Zusammensetzung des Flüssigkeitsgemisches bei dem Umfüllen zur Bestimmung der Dichte entstehen können, dadurch zu vermeiden,

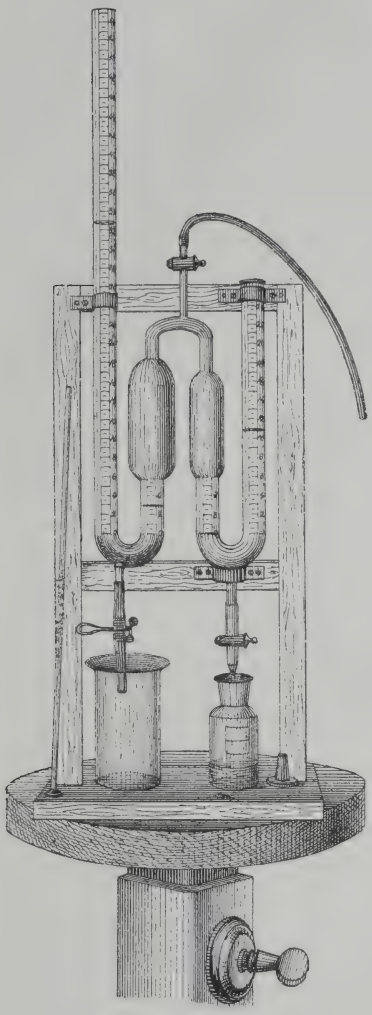


Fig. 641.

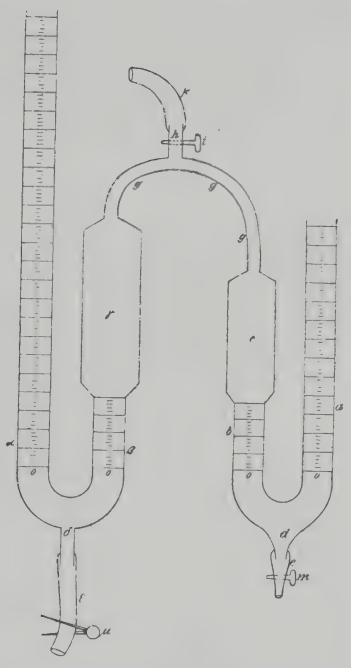


Fig. 642.

Apparat zur Dichtebestimmung nach W. Salomon.

daß er zuerst ein annäherndes Schweben herbeiführt und dann die Flüssigkeit mit dem Körper in ein Dilatometer bringt und nun die Temperatur beobachtet, bei der dieses Schweben genau eintritt. Er erreicht eine Genauigkeit bis auf wenige Einheiten der vierten Dezimale.

[1]) Die Methode des Schwebens zur Dichtebestimmung homogener fester Körper. Zeitschr. f. physik. Chem. **76.** 1911. 491—496. Eine Methode zur Dichtebestimmung fester Körper. Ebenda **82.** 1913. 109—114. Ref. N. J. 1913 II. 360.

Hebelwagen oder Federwagen oder Torsionswagen sind in den Formen, wie sie von E. H. Kraus[1]) und von M. v. Schwarz[2]) vorgeschlagen wurden, mehr zu Demonstrationszwecken geeignet.

1891 hat W. Salomon[3]) einen zur Messung der Dichte von Flüssigkeiten, und also auch von darin schwebenden Körpern, sowie zur mechanischen Trennung gemengter Pulver bestimmten Apparat beschrieben, der auf dem Prinzip beruht, dass die Höhen von Flüssigkeitssäulen, die sich in kommunizierenden Röhren das Gleichgewicht halten, ihren Dichten umgekehrt proportional sind. Die Konstruktion dieses Apparates ergibt sich aus Figuren 641 und 642. Das zum Teil kalibrierte Röhrensystem α bis a ist in solchen Dimensionen gehalten, daß die weiteren Teile γ und c den gesamten Inhalt von α und β, beziehungsweise a und b aufnehmen können; d und e sind ineinander geschliffene, sich verengende Glasröhren, ε und $\varkappa$ Kautschukschläuche, μ ein Quetschhahn, m und i Glashähne. Der ganze Apparat wird vermittelst einer Wasserwage auf dem Holzteller horizontal aufgestellt. Zunächst muss man den Unterschied in den Nullpunkten der Skalen in den Röhrenschenkeln α, b, a, β ein für allemal bestimmen; das geschieht, indem man bei Offenstellung des Hahnes i in α und a so viel Wasser eingießt, daß es in β und b fast bis zum Skalenende reicht. Nun liest man nach bekannter Methode die Lage der im gleichen Niveau befindlichen Menisken in α, β, a und b ab und wiederholt diese Ablesungen mehrmals nach jeweiligem Ablassen kleiner Wassermengen durch e und ε, um schließlich aus den gefundenen Werten das Mittel zu nehmen. Soll nun der (natürlich getrocknete) Apparat gebraucht werden, so schließt man den Hahn i, füllt die ihrer Dichte nach zu bestimmende Flüssigkeit in a und destilliertes Wasser in α. Werden dann die Menisken in α, a, b und β abgelesen, so hat man, da sich die Flüssigkeitssäulen $a—b$ und $\alpha—\beta$ das Gleichgewicht halten,

$$\frac{a—b}{\alpha—\beta} = \frac{1}{\mathrm{d}},$$

$$\mathrm{d} = \frac{\alpha—\beta}{a—b},$$

wobei noch die Korrekturen für die Verschiedenheiten der Nullpunkte berücksichtigt werden müssen. — Um tunlichst genaue Werte zu bekommen, werden die Größen $\alpha—\beta$ und $a—b$ mehrmals bestimmt, was durch Ablassen der Flüssigkeit durch e, des Wassers durch ε, der Luft durch i leicht erreicht wird. Die Zuverlässigkeit der gefundenen Werte wächst dann mit dem Wert $a—b$ und nimmt mit diesem in empfindlicher Weise

[1]) Eine neue Jollysche Federwage zur Bestimmung des spezifischen Gewichts. Zentralbl. f. Min. usw. 1911. 366—368.

[2]) Eine einfache Wage zur Bestimmung der Dichte. Zentralbl. f. Min. 1910. 447—454. Zwei neue Modelle der Dichtebestimmungswage. Ebenda 1913. 565—570 und Abermals zwei neue Dichtebestimmungswagen. Ebenda 1915. 97—106.

[3]) N. J. 1891. II. 214—220.

ab. Die Genauigkeit ist überhaupt erheblich geringer, als die durch die Westphalsche Wage zu erzielende, bei der die Bestimmungen leicht bis auf 0,001 richtig ausfallen, während man bei dem Salomonschen Apparat sicherlich mit der fünffachen Größe rechnen muß. Bei einem vom Autor mitgeteilten Beispiel waren die Höhen der Lösungen 76,3 mm und 207,5 mm, woraus sich die Dichte zu 2,719 ergab. Bei einem Ablesungsfehler von nur 0,1 mm in umgekehrtem Sinne — also bei dem einen Rohr in positivem, bei dem anderen in negativem Sinne — erhält man aus 76,2 mm und 207,6 mm die Dichte zu 2,724, also einen um 0,005 größeren Wert als vorher.

182. Von schweren Flüssigkeiten, die bei gewöhnlicher Temperatur flüssig bleiben, sind mehrere in Gebrauch. Schon 1862 schlug Graf Schaffgotsch[1]) eine Lösung von saurem Quecksilbernitrat zur Bestimmung der Dichte von Mineralien vor. Die Lösung erreicht in konzentriertem Zustand eine Dichte von etwa 3,3, ist aber wegen ihrer stark sauren Eigenschaften nur von beschränkter Anwendbarkeit. Zurzeit werden hauptsächlich folgende Flüssigkeiten empfohlen:

Thouletsche Lösung,
Kleinsche Lösung,
Duboinsche Lösung,
Rohrbachsche Lösung,
Jodmethylen,
Bromoform,
Acetylentetrabromid,
Clericische Lösungen.

Als Thouletsche Lösung bezeichnet man eine zuerst von E. Sonstadt[2]), dann von A. H. Church[3]) vorgeschlagene, durch J. Thoulets Versuche[4]) allgemeiner bekannt gewordene und von V. Goldschmidt[5]) in allen ihren Eigenschaften genauer untersuchte Kaliumquecksilberjodidlösung, deren Maximaldichte nach V. Goldschmidt 3,196 beträgt, während sie Thoulet nur auf 2,77, Church auf 3,01, dagegen J. Höfle und G. Vervuert vorübergehend auf 3,220 brachte[6]). Man erhält diese Lösung nach Goldschmidts Angabe, wenn man ein Gemenge von Quecksilberjodid (Hydrargyrum bijodatum rubrum des Handels) mit Jodkalium im Verhältnis 1,24 : 1, was nahezu der Formel $HgJ_2 . 2KJ$ mit kleinem Überschuß an KJ entspricht, in kaltem Wasser löst (etwa 500 g der Salze in 80 ccm Wasser) und diese Lösung auf dem Wasserbad bis zur Bildung einer kristallinen Haut auf der Oberfläche, oder bis zum Schwimmen

[1]) Pogg. Ann. **116.** 1862. 279—289.
[2]) Chemical News **29.** 1874. 127—128.
[3]) Mineral. Mag. **1.** 1877. 237—238.
[4]) Bull. Soc. Min. Fr. **2.** 1879. 189—191.
[5]) s. o. S. 678, Fußnote 4.
[6]) Zentralbl. f. Min. usw. 1909. 554—555.

eines Kristalls von Flußspat (spez. Gew. = 3,18) eindampft. Nach dem Erkalten ist dann durch Kontraktion die Dichte der Lösung auf 3,196 gestiegen. Nach L. van Werveke Beobachtungen schadet ein Überschuß von KJ nicht, ist vielmehr wünschenswert; bei dem Eindampfen scheidet sich der größere Teil dieses Überschusses wieder aus. Solange das Verhältnis der beiden Salze KJ und HgJ_2 das richtige ist, läßt sich die Lösung durch Wasserzusatz stetig verdünnen bis auf die Dichte 1,0 und durch Eindampfen auf dem Wasserbade wieder auf das Maximum 3,196 bringen. Ändert sich aber das Verhältnis der Salze, so scheidet sich bei einem Überschuß von HgJ_2 ein gelbes wasserhaltiges Doppelsalz in Kristallnadeln, bei Überschuß von KJ diese letztere Substanz in Würfeln aus. Die gleichen Ausscheidungen entstehen bei längerem Stehen der Lösung in trockener Luft. Bei längerem Gebrauch verliert die Lösung ihre gelbgrünliche Farbe und wird durch ausgeschiedenes Jod rotbraun. Man vermeidet diese Zersetzung oder führt die zersetzte Lösung in ihren ursprünglichen Zustand zurück, wenn man bei dem Eindampfen einige Tropfen Quecksilber hinzufügt[1]). Das freie Jod verbindet sich alsdann mit Quecksilber zu Quecksilberjodür, das sich als feines graugrünes Pulver an das metallische Quecksilber ansetzt und bewirkt, daß dieses beim Umrühren in feine, nur sehr schwer zusammenfließende Kügelchen zerfällt; bei weiterem Eindampfen setzt sich $2HgJ$ um in HgJ_2 und Hg, und das Quecksilberjodid verbindet sich wieder mit überschüssigem Kaliumjodid. — Die Lösung verändert sich an der Luft durch Abgabe und Aufnahme von Wasser und ändert damit ihre Dichte; nur eine Lösung von der Dichte 3,01—3,10 kann man an der Luft stehen lassen, ohne daß sie sich merklich ändert. Das Maximum der Veränderlichkeit hat sie bei der Dichte 2,0—2,5.

Die Verdünnung der konzentrierten Lösung auf eine bestimmte niedrigere Dichte durch Wasserzusatz läßt sich wegen der hierbei stattfindenden Kontraktion nicht mit Sicherheit genau voraus berechnen. Nach einem flüchtigen oben S. 679 angegebenen vorläufigen Überschlagsverfahren, empfiehlt es sich weiterhin empirisch vorzugehen, indem man in die Lösung das zu untersuchende Mineralkorn wirft und nun an dem schnelleren oder langsameren Steigen des hinuntergestoßenen Korns ersieht, ob man viel Wasser, oder nur sehr vorsichtig tropfenweise Wasser, oder bei geringer Differenz der vorhandenen und der zu erreichenden Dichte besser eine verdünnte Lösung langsam zuzusetzen hat, bis das Mineral in der Lösung schwebt. Hat man zu stark verdünnt, so hilft ein Zusatz konzentrierterer Lösung bald dem Versehen ab. Man erkennt die Annäherung an den Gleichgewichtszustand von Lösung und Mineralkorn daran, daß dieses sehr langsam steigt und sich dabei auch einmal vorübergehend auf die hohe Kante stellt.

Da metallisches Eisen die Lösung unter Ausscheidung von Quecksilber zersetzt, so muß man etwaige Splitter, die aus dem Mörser in das

[1]) van Werveke, N. J. 1883. II. 86.

Pulver geraten sein könnten, mit dem Magneten oder durch Säure entfernen, bevor man das Pulver mit der Lösung in Berührung bringt. Interessant ist die von W. F. Hillebrand beobachtete Einwirkung der Thouletschen Lösung auf einen Calcium-Carnotit, der dadurch in einen Kali-Carnotit umgewandelt wurde. Man darf also bei der Verwendung der Thouletschen Lösung noch manche Veränderungen der Mineralien erwarten und muß die nötige Vorsicht walten lassen[1]).

Die von Daniel Klein gefundene und nach ihm benannte Lösung ist diejenige eines Cadmiumborowolframates von der Formel $2\,CdO\,.\,B_2O_3\,.\,9\,WoO_3\,.\,2\,H_2O + 16$ aq[2]). Sie hat eine etwas höhere Dichte (3,30) als die Thouletsche Lösung, ist ebenfalls sehr leicht zu regenerieren, besitzt aber im konzentrierten Zustand eine etwas zähflüssige Beschaffenheit. Nach den Angaben von D. Klein und W. B. D. Edward[3]) erhält man die Lösung dadurch, daß man 450 g reines wolframsaures Natron in dem fünffachen Gewicht Wasser löst, 675 g Borsäure, $B_2O_3\,.\,3\,H_2O$, hinzufügt und bis zur vollständigen Lösung erwärmt. Bei ungestörter Erkaltung scheidet sich Borax aus; die Lösung wird abfiltriert und durch Erwärmen auf dem Wasserbad etwa auf die Hälfte eingeengt, ohne daß sich auf der heißen Lösung eine Kristallkruste gebildet hätte. Bei dem abermaligen ruhigen Stehenlassen der Lösung scheiden sich wieder Borax und Natronpolyborate aus. Die Mutterlauge, die durch beginnende Reduktion violett gefärbt ist, wird abgegossen, und die abgeschiedenen Kristalle werden von den anhängenden Resten der viskosen Mutterlauge gereinigt. Diese Operation wird mehrfach wiederholt, wobei man zu beachten hat, daß die letzten kleinen Mengen Natriumborat aus der dickflüssigen Lösung sich recht langsam ausscheiden. Schließlich erreicht die Mutterlauge, die eine Lösung von $4\,Na_2O\,.\,12\,WoO_3\,.\,B_2O_3$ darstellt, eine Konzentration, sodaß Glas oder Feldspat darauf schwimmt; sie mag bei den oben angegebenen Mengen etwa 220 ccm betragen und ist nun für die Herstellung zunächst eines Barium-Borowolframates geeignet. Dazu gießt man in diese konzentrierte und kochende Lösung eine ebenfalls konzentrierte und kochende Lösung von Chlorbarium (150 g $BaCl_2\,.\,2\,H_2O$ in 200 g Wasser). Es bildet sich ein sehr reichlicher pulveriger Niederschlag, sodaß die Lösung zu einem weißlichen Brei gesteht. Der mit der Luftpumpe abfiltrierte und ausgewaschene Niederschlag wird in heißer, verdünnter Salzsäure unter Umrühren gelöst (es sind etwa 300 ccm dieser Säure, $1\,HCl$ vom spez. Gew. 1,18 auf 10 Wasser, notwendig). Bei dem darauf folgenden Eindampfen zur Trockne werden gegen Ende der Operation 40 ccm konzentrierte Salzsäure zugesetzt. Die trockene Masse wird mit 300 ccm kochendem Wasser aufgenommen und das Kochen unter zeitweiligem Wasserzusatz bis zu

[1]) Z. X. **53.** 1914. 1—3.
[2]) C. R. **93.** 1881. 318; Bull. Soc. Min. Fr. **4.** 1881. 149—155.
[3]) Geol. Mag. **8.** 1891. 273—275.

2 Stunden fortgesetzt, worauf die hierbei ungelöst bleibende Wolframsäure abfiltriert wird. Aus der Lösung scheiden sich beim Konzentrieren schöne quadratische Kristalle (111.001) von der Formel $2\,BaO.B_2O_3.9\,WoO_3.2\,H_2O + 18$ aq ab. Aus der Mutterlauge läßt sich durch Einengung eine weitere Portion dieser Kristalle erhalten, während das zum Schluß in farblosen Blättchen sich ausscheidende Bariumborat zu entfernen ist. Jene Kristalle werden durch mehrmaliges Umkristallisieren gereinigt und von etwa anhängenden Borsäureblättchen durch alkoholisches Wasser befreit. Die bisweilen auftretende mattviolette Färbung der Kristalle rührt von einer beginnenden Reduktion her und kann durch einige Tropfen Salpetersäure beseitigt werden; sie ist übrigens unschädlich. Aus der Lösung dieser Kristalle in 200 ccm kochendem Wasser erhält man schließlich durch Zusatz von 25 g Cadmiumsulfat das oben angegebene Cadmiumborotungstat durch Wechselzersetzung. Bariumsulfat wird abfiltriert und das Filtrat eingedampft bis zur beginnenden Bildung einer Kristallhaut. — Durch Filtrieren erhält man leicht eine kalte Lösung von der Dichte 3,360—3,365, die wie die Thouletsche in jedem Verhältnis ohne Zersetzung mit Wasser mischbar ist und stets wieder durch Eindampfen auf die Dichte 3,36 gebracht werden kann. Sie hat vor der Thouletschen Lösung den Vorzug der höheren Dichte und der Unschädlichkeit, ist dagegen in ihrer Darstellung, wie man aus Vorstehendem gesehen haben wird, weit weniger einfach. Aus den angegebenen Gewichtsmengen erhält man etwa 160 g oder 50 ccm der konzentrierten Lösung.

Die Lösung wird durch metallisches Eisen, Zink und Blei, sowie durch Karbonate zersetzt. Diese Substanzen müssen also gegebenenfalls durch Behandlung mit Säure aus dem Pulver entfernt werden, ehe dieses mit der Lösung in Berührung kommt. Durch Reduktionsvorgänge dunkelt die Kleinsche Flüssigkeit öfters; man oxydiert und klärt sie leicht nach Angaben von L. van Werveke durch Zusatz einiger Tropfen einer Wasserstoffsuperoxydlösung[1]). Man erreicht eine noch höhere als die oben angegebene Dichte von 3,36, wenn man bis zum Schwimmen des Olivins auf der warmen Lösung eindampft und dann 24 Stunden an einem kühlen Ort stehen läßt. Das Cadmiumborotungstat setzt sich dann in kristallinen Massen ab, die aus verwachsenen rhombischen Individuen bestehen. Reinigt man diese durch Abtropfen möglichst von ihrer Mutterlauge und erwärmt sie in einer Röhre im Wasserbad, so schmelzen sie bei 75° in ihrem eigenen Kristallwasser und bilden eine ziemlich bewegliche Flüssigkeit, auf der Spinell (d = 3,60) schwimmt. Man kann diese Konzentration auch direkt durch Eindampfen der Lösung auf dem Wasserbad erreichen. Bei den höchsten Dichten ist die Kleinsche

[1]) cf. E. Cohen, Zusammenstellung petrograph. Untersuchungsmethoden. 3. Aufl. 1896. 10. Anm. Über das Arbeiten mit dieser Kleinschen Flüssigkeit s. auch P. Gisevius, Dissert. Bonn 1883.

Lösung ziemlich ölig und ihre praktische Verwendbarkeit zur Scheidung von Pulvern dann eine sehr beschränkte; nur recht grobe Pulver lassen sich noch damit behandeln.

A. Dubois ersetzt das Kalium der Thouletschen Lösung durch Natrium und stellt eine Jodnatrium-Jodquecksilberlösung mit einer maximalen Dichte von 3,46 bei 26° her[1]). Diese Lösung wurde bis jetzt noch nicht weiter verwendet, und ihre genaueren Eigenschaften sind noch nicht bekannt.

C. Rohrbach schlug eine Bariumquecksilberjodidlösung vor[2]), die bei geeigneter Behandlung eine Maximaldichte von 3,588 erreicht und dabei recht leichtflüssig ist. Bei der Darstellung muß man wegen der leichten Zersetzbarkeit des BaJ_2 anfangs rasch verfahren. 100 Teile BaJ_2 und 130 Teile HgJ_2 werden rasch abgewogen und in einem trockenen Kochfläschchen gut durcheinander geschüttelt. Darauf setzt man etwa 20 ccm destilliertes Wasser zu und bringt das Ganze in ein schon vorher auf 150°—200° erhitztes Oelbad. Die rasche Auflösung und Bildung des Doppelsalzes wird durch stetes Umrühren mit einem krückenförmig gebogenen Glasstab tunlichst beschleunigt. Nach vollendeter Lösung der Salze läßt man noch kurze Zeit sieden und dampft dann in einer Porzellanschale auf dem Wasserbad ein, bis ein Sulzbacher Epidot von der Dichte 3,39 schwimmt. Beim Erkalten scheidet sich nun eine kleine Quantität eines gelben Doppelsalzes aus, während die Lösung durch Kontraktion so schwer wird, daß Topas (spez. Gew. 3,55) darauf schwimmt. Da die Lösung sich nicht gut filtrieren läßt, so trennt man sie nach mehrtägigem Stehen von den ausgeschiedenen Kristallen durch vorsichtiges Abgießen. Leider läßt sich die Lösung nicht in der Kälte mit Wasser verdünnen, weil sich dann rotes HgJ_2 ausscheidet. In heißer Lösung kann man indessen diese Ausscheidung bei Zusatz von heißem Wasser verhindern; eine Ansäuerung mit HJ, wie sie empfohlen wird, ist nicht erforderlich. Auch in kalter Lösung soll sich kein HgJ_2 ausscheiden, wenn man einige Körnchen Natriumthiosulfat und Natriumsulfit zusetzt[3]). Einfacher ist es, eine schon verdünnte Lösung zu benutzen, die man in der angegebenen Weise oder dadurch erhält, daß man in einem Becherglas über der konzentrierten Lösung eine Schicht Wasser ausbreitet, worauf dann die Verdünnung durch Diffusion in 12—24 Stunden ohne Ausscheidung von HgJ_2 vor sich geht. Zur Entfärbung einer mit der Zeit durch Jodausscheidung dunkel gewordenen Rohrbachschen Lösung schlägt E. Sommerfeldt[3]) wieder

[1]) C. R. **141.** 1905. 385—388.

[2]) N. J. 1883. II. 186—188. Wied. Ann. **20.** 1883. 169—174. Nach einer Angabe von A. Arzruni wurde diese Flüssigkeit bereits im Jahre 1879 von Prof. Suschin in Petersburg dargestellt und von A. Karpinskij verwendet; s. Z. D. G. G. **37.** 1885. 869. Anmerk.; ferner Ref. N. J. 1886. I. 263.

[3]) E. Sommerfeldt, Resultate der wissenschaftlichen Erforschung des Balaton-Sees I. 1. 1908. Petrographischer Anhang, S. 12; s. auch Zentralbl. f. Min. usw. 1910. 483.

den Zusatz einiger ganz kleiner Körnchen eines Gemisches von Natriumthiosulfat und Natriumsulfit vor. Das Gesteinspulver muß stets ganz trocken eingetragen, und beim Auswaschen darf nicht reines Wasser, sondern KJ-haltiges Wasser angewendet werden. Karbonate zersetzen die Lösung ebensowenig wie Kohlensäure. Die außerordentlich leichte Zersetzbarkeit dieser sonst so vorzüglichen Lösung durch Wasser steht ihrer allgemeinen Verwendbarkeit hindernd im Wege und beschränkt ihre Benutzung auf das empfindlichste. Man wird sich ihrer nur da bedienen, wo die Dichte der Thouletschen und Kleinschen Lösung und des nun zu besprechenden Jodmethylens sich zu niedrig erweist.

Vor anderen schweren Flüssigkeiten hat das von R. Brauns untersuchte und empfohlene Jodmethylen CH_2J_2[1]) den Vorzug großer Leichtflüssigkeit, der Unveränderlichkeit an der Luft, wenn auch nicht am Licht, und des indifferenten Verhaltens gegen Metalle und Karbonate. Es ist eine stark lichtbrechende, hellgelb gefärbte Flüssigkeit, die von den chemischen Fabriken zu beziehen ist und bei 16° die Dichte 3,3243 hat. Diese ändert sich bedeutend mit der Temperatur und nimmt für 1° um etwa 0,0022 ab, sodaß die Dichte bei 5°, der Erstarrungstemperatur des Methylenjodids = 3,3485, bei 25° = 3,3045 ist. Der Brechungsindex beträgt bei 8° für Li 1,7346, für Na 1,7466, für Tl 1,7584 und nimmt für die angegebenen Wellenlängen mit 1° Temperaturzunahme um 0,00067, 0,00071 und 0,00073 ab. — Das Methylenjodid hat nur den Nachteil, daß es sich durch Erwärmen und längeres Stehen am Sonnenlicht bräunt. Diese Bräunung beruht auf einer Ausscheidung von Jod; sie wird durch Schütteln mit Kalilauge, Auswaschen mit reinem Wasser, Trocknen durch hineingeworfene Stücke von Chlorcalcium und Filtrieren beseitigt. Auch kann man die nachgedunkelte Flüssigkeit gefrieren lassen[2]), wobei ein ganz dunkelbrauner Rest übrig bleibt, den man abgießt. Der erstarrte Teil hat nach der Schmelzung die ursprüngliche hellgelbe Farbe. — Das abgeschiedene Jod kann nach J. L. C. Schroeder v. d. Kolk (Tabellen z. mikrosk. Best. usw. 1900. 13) auch mit Kupfer oder durch Schütteln mit einigen Tropfen Quecksilber leicht entfernt werden. Ein Aufbewahren über Quecksilber empfiehlt sich nicht, weil sich dabei mit der Zeit ein dunkelgrüner oder gelblicher Niederschlag bildet.

Die Verdünnung geschieht am besten mit Benzol und weniger zweckmäßig mit Äther oder Toluol. Um die benutzte Flüssigkeit wieder auf das Dichtigkeitsmaximum von etwa 3,33 zu bringen, hat man vorgeschlagen, das Benzol in offener Schale, gelegentlich unterstützt durch einen die Oberfläche streifenden, darüber hinwegeblasenen Luftstrom verdunsten zu lassen. Dies bedingt aber einen sehr großen Verlust auch an dem kostbaren Jodmethylen, sodaß es viel vorteilhafter ist, die Trennung von

[1]) N. J. 1886. II. 72—78.
[2]) R. Brauns, N. J. 1888. I. 213.

dem Benzol durch fraktionierte Destillation und zwar, damit sich möglichst wenig Jodmethylen zersetzt, im Vakuum vorzunehmen. Die aufgeführten Nachteile werden überreichlich aufgewogen durch den einen großen Vorteil der Leichtbeweglichkeit des Jodmethylens, das noch die Trennung von so feinen Pulvern gestattet, wie sie der Behandlung mit Thouletscher oder Kleinscher Lösung durchaus unzugänglich sind. Außerdem lassen sich die mit Methylenjodid getrennten Mineralpulver leicht und rasch durch Waschen mit Benzol reinigen (s. dagegen S. 709), während nach der Behandlung mit Quecksilbersalzen die Pulver oft lange und wiederholt ausgekocht werden müssen.

Nach J. W. Retgers[1]) kann man die Dichte der Thouletschen und Rohrbachschen Flüssigkeiten durch Eintragen von Jod in die warmen Lösungen bis zur Sättigung noch merklich steigern. Bei dem Erkalten scheidet sich etwas festes Jod wieder aus, ein Teil aber bleibt gelöst, und die abgegossenen Flüssigkeiten haben die Dichte von etwa 3,3—3,4, beziehungsweise 3,6 erreicht. Doch sind sie nicht nur recht zähflüssig, sondern auch undurchsichtig geworden, und also für den praktischen Gebrauch nicht geeignet.

Auch Jodmethylen läßt sich in ähnlicher Weise durch Eintragen von Jod in seiner Dichte steigern, ist aber gleichfalls undurchsichtig geworden, wenn auch leichtbeweglich geblieben. — Eine größere Verwendbarkeit scheint nach Retgers einer schweren Lösung zuzukommen, die man aus Jodmethylen und Jodoform (CHJ_3) herstellt. In das Jodmethylen wird bei gelinder Erwärmung das gelbe Jodoformpulver eingetragen bis zur Sättigung. Nach dem Erkalten scheidet es sich teilweise wieder aus. Gießt man die darüberstehende Flüssigkeit ab, die meistens durch teilweise Zersetzung des Jodoforms gebräunt ist, und reinigt sie durch Schütteln mit Kalilauge, so erhält man eine durchsichtige, tiefgelbe Flüssigkeit von der Dichte 3,456 bei 24°. — Diese leichtbewegliche Flüssigkeit wird mit reinem (benzolfreiem) Methylenjodid verdünnt. Auch die Dichte dieser Flüssigkeit läßt sich durch Eintragen von Jod noch etwas weiter und zwar auf 3,60—3,65 steigern. Die Beweglichkeit ist noch immer eine bedeutende, aber die Durchsichtigkeit ist dann wieder verloren gegangen.

Retgers hat noch eine Reihe anderer, zum Teil höchst giftiger Flüssigkeiten, wie Arsenbromür ($AsBr_3$) oder eine Auflösung von Zinnjodid (SnJ_4) in Arsenbromür, vorgeschlagen und dabei bemerkt, daß man kaum erwarten dürfe, bei gewöhnlicher Temperatur flüssige Körper von einer höheren Dichte als 3,7 zu erhalten[2]), was aber dann durch

[1]) N. J. 1889. II. 185—192.

[2]) Zeitschr. f. phys. Chem. **11.** 1893. 328—344. Auch ist von dem gleichen Verfasser manche Angabe über diesen Gegenstand zu finden in: De Samenstelling van het Duinzand van Nederland. Verh. K. Akad. Amsterdam. 1891. Essai d'une analyse chim. du sable des dunes. Ann. École Polytechn. Delft. **7.** 1892. 161—186. Letztere beiden Aufsätze sind vereinigt in: Rec. trav. chim. des Pays-Bas. **11.** 1893. 169—257, wovon sich im N. J. 1895. I. 16—74 ein längerer Auszug findet.

E. Clerici mit seinen Thalliumsalzen organischer Säuren (s. w. u.) widerlegt wurde.

Das kostbare Jodmethylen hat man durch andere Flüssigkeiten teilweise zu ersetzen versucht, die zwar eine weniger hohe Dichte haben, aber in vielen Fällen ausreichen. So schlug Schroeder v. d. Kolk das Bromoform ($CHBr_3$) mit der Dichte 2,84[1]), W. Muthmann das symmetrische Acetylentetrabromid ($CHBr_2 — Br_2HC$) mit der Dichte 3,00[2]) vor. Bromoform erhielt man früher im Handel für etwa den neunten Teil des Preises von Jodmethylen und das Acetylentetrabromid kam bei eigener Herstellung auch nicht höher zu stehen. Diese Herstellung ist sehr einfach, indem man das jetzt so verbreitete Acetylen in Brom einleitet, das Reaktionsgemisch mit Äther aufnimmt und im luftverdünnten Raum der fraktionierten Destillatiou unterwirft. Die Vorzüge dieser Flüssigkeit bestehen in ihrer völligen Haltbarkeit an Luft und Licht (Bromoform ist nicht unempfindlich gegen Licht), sodaß also die beim Jodmethylen so unangenehme Eigenschaft fortfällt, unter dem Einfluß des Lichtes Jod auszuscheiden und dadurch dunkler zu werden. Bromoform schmilzt bei 7,8° und siedet bei 151°; sein Brechungsindex ist bei 15° für Na-Licht 1,588. Acetylentetrabromid schmilzt unterhalb —20°, siedet bei 36 mm Quecksilberdruck bei 137° und hat den Brechungsindex 1,648. Die Verdünnung erfolgt durch (Äther oder) Benzol und nach E. Sommerfeldt[3]) bei Acetylentetrabromid durch Äthylenbromid (von der Dichte 2,18—2,19). Beide Flüssigkeiten haben einen hohen Siedepunkt und erfahren in ihren Gemischen durch Verdampfung keine wesentlichen Konzentrationsänderungen. Äthylenbromid siedet bei 36 mm Quecksilberdruck bei 131°, Acethylentetrabromid, wie oben gesagt, nur 6° höher. Die Regeneration dieser Gemische läßt sich, um Verluste zu vermeiden, durch fraktionierte Destillation im Vakuum bewirken.

Die Retgerssche Vermutung, daß man mit einer Lösung von der Dichte 3,700 an der Grenze des Erreichbaren angelangt sein dürfte, hat durch die Untersuchungen von E. Clerici eine glückliche Widerlegung erfahren. Diesem Forscher gelang es[4]), einige sehr schwere, in einem Minimum von Wasser lösliche Thalliumsalze organischer Säuren der Suspensionsmethode dienlich zu machen. Insbesondere handelt es sich um das Doppelsalz Thallium-Formiat-Malonat, dessen Herstellung nach meinen eigenen Erfahrungen beschrieben werden möge[5]). Als Ausgangsmaterial

[1]) N. J. 1895. I. 274. E. Merck, Darmstadt, gibt für sein Bromoform 2,904 an.

[2]) Z. X. **30.** 1898. 73—74.

[3]) Zentralbl. f. Min. usw. 1910. 487.

[4]) Präparazione di Liquidi usw. Rend. R. Accad. dei Lincei. **16.** 1907. 187—195; Ref. N. J. 1908. II. 2—3. Ferner E. Sommerfeldt, Zentralbl. f. Min. usw. **1910.** 488. Ferner E. Clerici, Sulla viscosita usw. Rend. R. Accad. dei Lincei. **20.** 1911. 45—50.

[5]) Ich folge hier den Darlegungen meines Schülers, des Herrn Dr. F. Hörner, in seinen Beiträgen zur Kenntnis des Stauroliths. Dissert. Heidelberg 1915. 27—28.

bezieht man Thalliumkarbonat, Ameisensäure und Malonsäure. Zur Gewinnung zunächst des Formiats wird das Thalliumkarbonat in einer Porzellanschale mit wenig Wasser angerührt und unter Umrühren mit einem Glasstab die nötige Menge Ameisensäure tropfenweise dazugegeben. Das entstehende Formiat HCOOTl geht dabei in Lösung und wird durch Eindampfen auf dem Wasserbad getrocknet. Das Thalliummalonat $CH_2(COO)_2Tl_2$ stellt man ähnlich her, indem man wieder das schwer lösliche, mit wenig Wasser angerührte Karbonat mit der berechneten Menge Malonsäure, die in möglichst wenig Wasser aufgelöst ist, tropfenweise versetzt, und, nachdem alle Kohlensäure entwichen ist, das Umsetzungsprodukt auf dem Wasserbad zur Trockne eindampft. Dieses Eindampfen dauert besonders bei dem Malonat ziemlich lange. Für den Schmelzpunkt des Malonats gibt Clerici ca. 135° an. Dieser Wert wird durch ganz geringe Spuren von Wasser, die nur schwer zu entfernen sind, beträchtlich und zwar bis unter die Temperatur des Wasserbads herabgedrückt. — Aus den fein pulverisierten Salzen wird nun durch ihre innige Mischung im Gewichtsverhältnis 1 : 1 unter Zugabe einer kleinen Menge Wasser die Clericische Lösung hergestellt. Dieses Wasser durchsetzt langsam die ganze Mischung, die dann flüssig wird, was man durch Umrühren mit einem Glasstab beschleunigen kann. Durch Verdünnen mit Wasser und Filtrieren wird die Lösung gereinigt und durch Eindampfen auf dem Wasserbad leicht wieder auf hohe Konzentration gebracht. Als Indikator verwendet man dabei zweckmäßig einen Korund. Mit der Westphalschen Wage wurde die Dichte einer so konzentrierten Lösung zu 4,275 ermittelt. Ihre Lichtbrechung ist aber, verglichen mit derjenigen anderer schwerer Flüssigkeiten, verhältnismäßig niedrig. Eine Bestimmung mit dem Totalreflektometer ergab für Na-Licht 1,690. Die Lösung ist vor Salzsäuredämpfen zu schützen, da sich sonst auf ihrer Oberfläche störende Niederschläge bilden. — Der große Vorteil, der die gegenwärtig im Preis allerdings noch sehr hohe Clericische Lösung auszeichnet, besteht nächst ihrer hohen Dichte darin, daß sie in allen Verhältnissen mit Wasser verdünnbar ist, und daß sie auch bei der hohen Eigenschwere von 4,275 eine nur schwach gelblich gefärbte Flüssigkeit darstellt, die erst bei ca. 10° zu Kristallausscheidungen neigt und dann bald im ganzen erstarrt. In der Beweglichkeit übertrifft die konzentrierte Thallium-Formiat-Malonat-Lösung die Thouletsche Lösung.

183. Schwere Schmelzen sind schwere Flüssigkeiten, die erst bei erhöhter Temperatur flüssig werden. Sie dienen zwar hauptsächlich zur Trennung verschieden schwerer Mineralien (s. § 191), können aber auch zur Bestimmung der Dichte verwendet werden. Zunächst ist hier die bereits S. 688 genannte, bei 75° schmelzende, sehr konzentrierte Kleinsche Lösung von der Dichte 3,6 zu erwähnen, sodann ein schon 1880 von R. Bréon[1]) erwähntes Gemisch von Chlorblei und Chlorzink. Das erstere

[1]) Bull. Soc. Min. Fr. **3.** 1880. 46–56.

hat im geschmolzenen Zustand die Dichte 5,0, das zweite 2,4. Man erhält also, je nach den angewandten Mengen dieser Körper, Schmelzen jeder zwischenliegenden Dichte. Man schmilzt das Gemenge in einem Proberöhrchen im Sandbad bis zur vollständigen Mischung der Schmelzen bei etwa 400°, trägt alsdann das zu trennende Pulver in kleinen Portionen ein und rührt mit einem Platinstabe um. Sobald die schwereren Massen am Boden liegen, die leichteren schwimmen, läßt man ein wenig abkühlen und taucht das Röhrchen in kaltes Wasser. Man kann dann seinen Boden leicht abbrechen oder abschlagen und den Kuchen in heißem Wasser unter Zusatz von etwas Salpetersäure auflösen. Ebenso verfährt man mit dem oberen Teil, wo sich die leichteren Mineralien finden. Das Verfahren gibt nur dann brauchbare Resultate, wenn die Korngröße des Pulvers eine ziemlich bedeutende ist.

J. W. Retgers schlug statt dessen die Benutzung von geschmolzenem Silbernitrat ($AgNO_3$) vor[1]), dessen Schmelzpunkt bei 209° liegt, und dessen Schmelze die Dichte 4,1 hat; Korund (Dichte = 3,9) und Cölestin (Dichte = 4,0) schwimmen darauf, Rutil (Dichte = 4,2) sinkt unter. Die Trennung geschieht am besten in kleinen Bechergläsern über offener Flamme, nötigenfalls durch Drahtnetz geschützt. Das Schwimmende wird abgegossen oder mit einem Porzellanlöffelchen abgehoben. Die Schmelze läßt sich verdünnen durch Zusatz von Alkalinitraten KNO_3 oder $NaNO_3$.

Durch Eintragen von Jodsilber in eine warme konzentrierte Lösung von Silbernitrat erhält man am Boden des Gefäßes eine durchsichtig gelbe, ölartige Flüssigkeit, auf der die farblose wässerige Lösung schwimmt. Dieses Öl, das man auch durch Zusammenschmelzen von trockenem Jodsilber und Silbernitrat erhalten kann, ist eine wasserfreie, nicht konstante Verbindung von $AgNO_3$ und AgJ. Braunit (Dichte = 4,8) schwimmt darauf, Magnetit (Dichte = 5,2) sinkt unter. Ihre Dichte ist also etwa = 5,0, und ihr niedriger Schmelzpunkt (65°—70°) erlaubt noch die Behandlung auf dem Wasserbad vorzunehmen. Ein Mittel zur Verdünnung dieser öligen Flüssigkeit kennt man noch nicht.

Später hat Retgers das Thalliumsilbernitrat als schwere Schmelze zu Mineraltrennungen vorgeschlagen, als er den Schmelzpunkt des Doppelsalzes $TlAgN_2O_6$ erheblich niedriger (bei 75°) als den der einzelnen Salze $TlNO_3$ (bei 205°) und $AgNO_3$ (bei 209°) fand[2]). Die Dichte der Schmelze, die in jedem Wasserbad flüssig erhalten werden kann, ist ungefähr 4,8[3]). Die Schmelze ist vollkommen farblos und dünnflüssig wie Wasser, auch ist sie der Zersetzung erst bei Glühhitze unterworfen. Nur tritt wie bei den meisten Silbersalzen am Licht eine Schwärzung ein, die übrigens, weil sie erst nach längerer Zeit erfolgt und ganz ober-

[1]) N. J. 1889. II. 105—192.
[2]) N. J. 1893. I. 90—94, Z. f. phys. Chem. **5**, 1890. 451.
[3]) S. auch Penfield, Z. X. **26**. 1896. 136.

flächlich ist, im Gebrauch nicht stört. Die Verdünnung geschieht durch Zusatz von Wasser, womit auch eine Schmelzpunktserniedrigung bis 50° verbunden ist. Zur Darstellung des Doppelsalzes empfiehlt Retgers, die beiden Salze nicht käuflich zu beziehen, sondern der Billigkeit wegen die Lösung der Metalle in Salpetersäure selbst vorzunehmen, und dann die beiden Salze mit wenig Wasser zusammenzuschmelzen. Die chemischen Fabriken liefern nämlich die Salze erheblich teurer, als ihrem Metallwert entspricht. Schwefelmetalle, wie Pyrit, Kupferkies lassen sich mit dieser Thallosilbernitratschmelze nicht trennen, wie S. L. Penfield zuerst fand [1]). Dies veranlaßte Retgers andere Schmelzen aufzusuchen [2]), von denen er besonders das Thallium-Merkuro-Nitrat $TlHgN_2O_6$ empfiehlt. Dieses Doppelsalz schmilzt bei 76°, hat eine Dichte von 5,3, ist dünnflüssig und klar und läßt sich in jedem Verhältnis mit Wasser mischen.

184. Suspensionsmethode mit Schwimmer. Auf den ersten Blick könnte es scheinen, als wenn die Suspensionsmethode nur bei Mineralien von geringerer Dichte als diejenige der vorgeschlagenen Flüssigkeiten und Schmelzen anzuwenden sei. Indessen lassen sich auch Mineralien, deren Dichte beliebig größer ist, nach dieser Methode recht genau bestimmen, nur müssen sie, wenn man die oben (§ 178) angenommene Fehlergrenze von einigen Einheiten der dritten Dezimale einhalten will, schon aus Körnern von mindestens 0,3 g bestehen. Bei erheblich kleinerem Gewicht gelingt es kaum die zweite Dezimale richtig zu erhalten, man müßte denn eine Mikrowage zur Verfügung haben.

Das Prinzip rührt nicht, wie man früher annahm, von J. Thoulet her [3]), sondern ist, worauf E. Sommerfeldt hinwies [4]), schon in den älteren Auflagen des Leitfadens der praktischen Physik von F. Kohlrausch (z. B. in der 2. Aufl. von 1872) beschrieben. Hier heißt es „wenn der Körper spezifisch leichter ist als Wasser, so wird er durch Verbindung mit einem anderen von hinreichendem Gewicht zum Untersinken gezwungen; z. B. mit einer Metallklemme“ usw. In unserem Fall handelt es sich nur umgekehrt nicht um einen Zwang zum Untersinken sondern um ein Heben, also um die Verbindung mit einem spezifisch leichteren Schwimmer. Thoulet hat zuerst diese Methode auf mineralogische Objekte angewandt. Die Methode war, solange man wie Thoulet einen Schwimmer von Wachs anwandte, keiner großen Genauigkeit zugänglich. Auch der Vorschlag von J. Joly [5]), der die Mineralstückchen in eine kleine vorher gewogene Paraffinscheibe einschmolz, hat keinen Anklang gefunden. Joly wollte auf diese Weise auch poröse Substanzen ihrer Dichte nach bestimmen, da das schmelzende Paraffin die Poren

[1]) Am. Journ. **50.** 1895. 448.
[2]) N. J. 1896. I. 212—221; 1896. II. 183—195.
[3]) Bull. Soc. Min. Fr. **2.** 1879. 189—191.
[4]) Zentralbl. f. Min. usw. 1910. 482.
[5]) Phil. Mag. (5). **26.** 1888. 29.

ausfüllt. Noch unvollkommener ist wohl der Vorschlag von W. J. Smeeth[1]), der in ein kleines Glasgefäß etwas Vaselin bringt, in das er die Mineralkörper einsinken läßt, um darauf die Dichtebestimmung mit der hydrostatischen Wage vorzunehmen. Ein besserer Vorschlag wurde von A. Streng[2]) gemacht, der als Schwimmer ein kleines Glasbecherchen mit möglichst dünnen Wänden vorschlug, dessen Höhe etwa 5—6 mm, dessen oberer Durchmesser 5 mm betrug und an dessen unterem Teil drei Platindrähte von 3—4 mm Länge gewissermaßen als Füße eingeschmolzen waren, um das Becherchen immer in vertikaler Stellung zu halten. In diesen Becher wird die zu prüfende Substanz gelegt und das so vereinigte System zum Schweben gebracht. Die Methode hat, wie Retgers hervorhob, zwei Fehler: Das absolute Gewicht des Schwimmers ist zu groß, und die Flüssigkeit im Becher hat im allgemeinen nicht die Dichte der umgebenden Flüssigkeit.

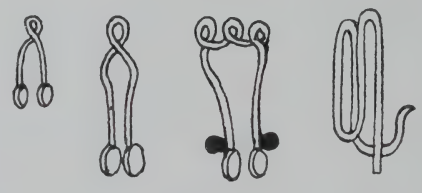


Fig. 643.
Glasschwimmer nach J. W. Retgers.

Eigentlich brauchbar ist die Schwimmermethode erst durch Retgers' geschickte Hand geworden[3]). Nach ihm biegt man ganz dünne Glasfäden in passende Form und bringt zwischen die elastischen Arme dieser kleinen Klemmen das Mineral. Man stellt von solchen Klemmen in kurzer Zeit mehrere Dutzend in verschiedenem Gewicht her, um unter dem Vorrat nach Bedürfnis auszuwählen, und bestimmt von allen diesen Klemmen ein für allemal die Dichte, die natürlich bei allen gleich ist, da sie alle aus dem gleichen Glase in gleicher Weise hergestellt sind. Einige Proben, die noch durch Spiralen mannigfachster Dimensionen zu ergänzen wären, sind in Fig. 643 in wirklicher Größe abgebildet. E. Sommerfeldt hat auch Aluminiumdraht als Schwimmer vorgeschlagen, was sicherlich sehr bequem ist in allen Fällen, wo die zu verwendende schwere Lösung den Draht nicht angreift[4]).

Bei dem Verfahren bestimmt man, bevor man Mineral und Schwimmer miteinander verbindet,

das absolute Gewicht des Mineralkorns = g,
das absolute Gewicht des Schwimmers = g_1,
die Dichte des Schwimmers = d_1.

[1]) Proc. R. Soc. Dublin **6.** 1888. 58.
[2]) 25. Ber. Oberrh. Ges. f. Natur- u. Heilk. Gießen 1887. 110.
[3]) Zeitschr. f. phys. Chem. **4.** 1889. 190—196.
[4]) Zentralbl. f. Min. usw. 1910. 482—483. Ref. Z. X. **53.** 1913. 428.

Alsdann vereinigt man beide Teile, bringt sie in einer Lösung zum Schweben und bestimmt

die Dichte des verbundenen Systems = D.

Aus diesen vier beobachteten Größen findet man

die Dichte des Minerals = d

durch folgende Überlegung:

Das Volumen des Minerals ist g/d,
das Volumen des Schwimmers ist g_1/d_1,
das Volumen des vereinigten Systems ist $(g+g_1)/D$.

Alsdann ist bei Gleichsetzung der Volumina von den Teilen und dem vereinigten System:

$$\frac{g}{d} + \frac{g_1}{d_1} = \frac{g+g_1}{D}$$

oder

$$d = \frac{D}{1 - \frac{g_1(D-d_1)}{g\,d_1}}.$$

Eine Diskussion dieser Formel für die Berechnung der Fehlergrenze ist etwas verwickelt, sollte aber nicht außer acht gelassen werden. Schon Retgers hat eine dahingehende Untersuchung teilweise durchgeführt.

Zunächst läßt eine oberflächliche Überlegung schon erraten, daß man beide, Mineralkorn und Schwimmer, möglichst groß auszuwählen hat, weil dann ein konstanter Wägefehler von kleinerem Einfluß ist. Ein Zahlenbeispiel wird dies noch verdeutlichen:

	Bestimmungen		Bestimmungen	
	richtig	falsch	richtig	falsch
Gewicht des Minerals . . . . . g	0,0200	0,0201	0,2000	0,2001
Gewicht des Schwimmers . . . . . g_1	0,0100	0,0099	0,1000	0,0999
Dichte des Schwimmers . . . . . d_1	2,200	2,200	2,200	2,200
Dichte des vereinigten Systems . . . D	3,300	3,300	3,300	3,300
Dichte des Minerals aus obigen Werten berechnet . . . . . d	4,400	4,378	4,400	4,398

Bei 20 mg Substanz beträgt der Fehler in der Bestimmung der Dichte 0,022, wobei die Bestimmungen der absoluten Gewichte nur so weit fehlerhaft angenommen wurden, als die Genauigkeit guter analytischer Wagen geht. Bei Anwendung von 200 mg Substanz, also der zehnfachen Menge, sinkt der Fehler in dem obigen Zahlenbeispiel auf 0,002 herab und wird also elfmal geringer. Hier sind die Wägefehler ebenso groß wie im ersten Fall angenommen, was wohl berechtigt ist, weil man ein Gewicht von 200 mg mit unsern gewöhnlichen Hilfsmitteln ebenso genau bestimmen kann, wie ein Gewicht von 20 mg.

Ferner hat Retgers schon hervorgehoben, wie wichtig es ist, die Schwimmer so klein wie möglich zu wählen. Die folgende kleine Tabelle zeigt den Einfluß von Schwimmern verschiedener Größe auf den Endwert d, wenn man einstweilen immer denselben Fehler bei der Bestimmung von d_1 und D annimmt und jetzt einmal die Gewichte als richtig bestimmt voraussetzt.

	Bestimmungen		Bestimmungen	
	richtig	falsch	richtig	falsch
Gewicht des Minerals . . . . . g	0,2000	0,2000	0,2000	0,2000
Gewicht des Schwimmers . . . . . g_1	0,1000	0,1000	1,0000	1,0000
Dichte des Schwimmers . . . . . d_1	2,200	2,199	2,200	2,199
Dichte des vereinigten Systems . . . D	3,300	3,301	2,400	2,401
Dichte des Materials aus obigen Werten berechnet . . . . . d	4,400	4,405	4,400	4,440

Bei einem Schwimmer von 100 mg Gewicht beträgt der Fehler 0,005, bei einem 10fach größeren Schwimmer steigt aber dieser Fehler bei dem gleichen Mineralkorn auf das 8fache, nämlich auf 0,040. Man sieht also, daß man in der Tat die Schwimmer so klein wie möglich zu wählen hat; die Grenze ist durch die Dichte der Flüssigkeit gegeben, in welcher Mineral und Schwimmer vereint zum Schweben gebracht werden müssen. Ein Größenverhältnis zwischen Kristall und Schwimmer, wie es bei Anwendung von Glasröhrchen nicht zu vermeiden ist und wie es im N. J. 1903. I. 146 figürlich dargestellt wurde — das Röhrchen ist doppelt so dick und siebenmal länger als der Kristall — kann nach diesen Überlegungen nicht als vorteilhaft bezeichnet werden.

Dehnt man nun die Diskussion auf alle 4 Stücke g, g_1, d_1, D, von denen die Größe d abhängt, aus, so kann man zu einer Vorstellung von der maximalen Fehlergrenze auf folgendem Wege gelangen: Man kann sagen, daß es besonders widerspruchsvoll wäre, wenn ein zu kleiner und spezifisch zu schwerer Schwimmer einen zu schweren Körper in einer zu dünnen Lösung zum Schweben bringen sollte oder umgekehrt, wenn dieses Schweben verlangt würde von einem zu großen und in seiner Dichte zu niedrigen Schwimmer bei einem zu leichten Korn in einer spezifisch zu schweren Lösung[1]).

Zu dem gleichen Ergebnis gelangt man auf analytischem Wege, wenn man von dem mir durch meinen verstorbenen Kollegen Stäckel mitgeteilten Satz Gebrauch macht, wonach das absolute Maximum oder Minimum einer Funktion $f(g\ g_1\ d_1\ D)$ bei Änderung der Variabeln

[1]) Es ist ja ohne weiteres klar, daß ein Kind mit einer großen Korkweste im Wasser eines Salzsees einen größeren Auftrieb hat, als ein Erwachsener mit einem kleinen Holzbrett in einem Süßwassersee.

g, g_1, d_1, D, um $\Delta g, \Delta g_1, \Delta d_1, \Delta D$ dann eintritt, wenn diese Änderungen proportional den partiellen Ableitungen der Funktion $f(g\, g_1\, d_1\, D)$ nach g, g_1, d_1, D erfolgen, wenn also ist:

$$\Delta g : \Delta g_1 : \Delta d_1 : \Delta D = \frac{\partial f}{\partial g} : \frac{\partial f}{\partial g_1} : \frac{\partial f}{\partial d_1} : \frac{\partial f}{\partial D}.$$

Dieser analytische Weg soll hier nicht weiter verfolgt werden, er führt aber ebenso wie der vorausgehend skizzierte physikalische Weg zu derselben Formel für die Berechnung der maximalen Fehlergrenze Δd, nämlich zu dem Ausdruck

$$d \pm \Delta d = \frac{D \pm \Delta D}{1 - \dfrac{(g_1 \pm \Delta g_1)\,[D \pm \Delta D - (d_1 \mp \Delta d_1)]}{(g \mp \Delta g)\,(d_1 \mp \Delta d_1)}}$$

Zur Illustration dieser Formel sei noch ein Zahlenbeispiel mit zwei verschiedenen Serien von Fehlergrenzen angeführt.

	Richtiger Wert	Fehlergrenzen I	II
Gewicht des Mineralkorns	$g = 0{,}1662$	$\mp 0{,}0001$	$\mp 0{,}00005$
Gewicht des Schwimmers	$g_1 = 0{,}3055$	$\pm 0{,}0001$	$\pm 0{,}00005$
Dichte des Schwimmers	$d_1 = 2{,}459$	$\mp 0{,}001$	$\mp 0{,}0005$
Dichte der Lösung	$D = 2{,}845$	$\pm 0{,}001$	$\pm 0{,}0005$
Berechnete Dichte des Minerals . . .	$d = 4{,}000$	$\pm 0{,}013$	$\pm 0{,}007$

Man sieht aus der ersten Serie unter I, daß ein Fehler von $\pm {}^1/_{10}$ mg in den Gewichten und von einer Einheit der dritten Dezimale in den Dichten schon 13 Einheiten der dritten Dezimale in der endgültigen Dichtebestimmung ausmachen kann. In solchen Fällen wird man bemüht sein, was keine allzugroßen Schwierigkeiten bereitet, die Gewichte auf ${}^1/_{20}$ mg und die Dichten auch noch etwas genauer, vielleicht auf fünf Einheiten der vierten Dezimale richtig, zu bestimmen. Man würde dann, wie die Kolonne II in der obigen Tabelle zeigt, die Fehlergrenze auf $\pm 0{,}007$ herunterdrücken können, wohlverstanden bei einem Körper von nur 166 mg Gewicht. Wiederholte Bestimmungen werden häufig weniger voneinander abweichen, als diese Rechnung ergibt; dann sind eben die ungünstigsten Kombinationen in den vier Variabeln nicht eingetreten.

Die Suspensionsmethode ist von Mineralogen und Petrographen eigens für ihre Zwecke erfunden und in ihrer Vorzüglichkeit sowie Unentbehrlichkeit längst erkannt worden. Es kommt ihr aber ein viel weiteres Anwendungsgebiet zu, sodaß sie wohl verdiente, ihre bei uns festbegründete Wertschätzung auch auf andere Forscherkreise ausgedehnt zu sehen.

Vierter Teil.

Trennungsmethoden.

185. Vorbehandlung. Um die Gemengteile eines Gesteins in reinem Zustand zu untersuchen, bedarf es ihrer Trennung und Abscheidung aus dem Gemenge. Eine solche Gesteinszerlegung in die Mineralkomponenten, also gewissermaßen eine mechanische Analyse, gelingt nicht immer durch konsequente Anwendung einer einzigen Methode; man muß vielmehr öfters mehrere Trennungsmethoden nebeneinander benutzen, die sich teils auf die verschiedene Dichte der Gemengteile, teils auf ihre verschiedene Angreifbarkeit durch chemische Reagenzien, teils auf ihr Verhalten gegen stärkere und schwächere Magnete stützen. Für alle diese Trennungen ist Vorbedingung, das Gemenge in Pulverform zu bringen und dem Pulver nicht nur solche Dimensionen zu geben, daß ein erheblicher Teil der Körnchen nur aus einer Mineralart besteht, sondern daß auch die Korngröße des zur Trennung bestimmten Pulvers eine tunlichst gleichmäßige wird. Welche Korngröße des Pulvers man in einem gegebenen Falle zu wählen hat, hängt im wesentlichen von der Korngröße des Gesteins ab, und als allgemeine Regel läßt sich nur der Satz aufstellen, daß die mechanische Trennung umso leichter und sicherer gelingt, je größer das Korn des zu trennenden Pulvers ist. Je staubähnlicher das Pulver ist, umso langsamer und schwieriger wird die mechanische Trennung, umso leichter und bequemer dagegen die chemische. Um nun bei der für die mechanische Sonderung erforderlichen Zerkleinerung eines Gesteins von dem störenden Gesteinsmehl möglichst wenig zu erhalten, muß man die Stücke in einem Metallmörser mit dem Klöpfel zerstampfen und das Reiben und Quetschen möglichst vermeiden. Glaubt man annähernd die erforderliche Korngröße erreicht zu haben, so bringt man das Pulver in ein größeres Gefäß (Becherglas oder Porzellanschale) und spült mit Wasser das feine, einer mechanischen Trennung höchst hinderliche Mineralmehl, das im Wasser lange suspendiert bleibt, fort. Nur wenn man absolut mikroskopische Gemengteile isolieren will, wird man dieses Waschen des Pulvers unterlassen oder jedenfalls das abgewaschene Mehl sammeln und mikroskopisch darauf prüfen, ob sich nicht das zu isolierende Mineral darin befindet. — Das gewaschene Pulver wird getrocknet und durch eine Reihe von feinen Sieben in Portionen von gleicher Korngröße getrennt. Man prüft diese mikroskopisch, um zu sehen, in welcher Portion die erforderliche Homogenität der einzelnen Körner erreicht wurde; auf diese Korngröße reduziert man alsdann das gesamte zur Verwendung bestimmte Pulver.

Die Siebe werden einzeln oder in sog. Siebsätzen in den mannigfachsten Formen und Maschenweiten von den verschiedenen Werkstätten hergestellt. In der Zementindustrie, wo die Korngröße bei der Bewertung

des Materials eine große Rolle spielt, verwendet man u. a. ein Sieb aus Metalldrähten, das 10000 Maschen auf den Quadratzentimeter enthält. An einem solchen Fabrikat wurden folgende Dicken gemessen

Draht + Masche . . . . = 100 μ,
Draht . . . . . = 39 μ,
Masche . . . . . = 61 μ.

Nach dem Gebrauch muß ein kostbares Sieb dieser Art sehr vorsichtig mittelst einer harten Bürste oder einer feinen Nadel von den eingeklemmten Körnchen befreit werden. Für uns kommt übrigens ein so feines Sieb kaum in Frage. Vorzüglich geeignet sind dagegen die netzartigen Gewebe, die man Gaze oder Beuteltuche zu nennen pflegt und die für das Müllergewerbe in wunderbarer Exaktheit und in jeder erforderlichen Maschenweite hergestellt werden. Man spannt kleine Stückchen davon in passende Rähmchen oder faßt sie auch nur an den vier Zipfeln und bildet einen kleinen Beutel. Die Gewebe behalten durch die Art der Umschlingung der Kettenfäden und durch die Imprägnation mit Klebstoff ihre rechteckigen Lücken in ganz bestimmter Größe. Solche Gaze können von der Schweizer Seidengazefabrik A. G. in Zürich (früher Albert Wydler, Zürich) in kleinen Streifen, die für lange Zeit ausreichen, bezogen werden. Um nur eine kleine Vorstellung von der großen Mannigfaltigkeit dieser schönen Fabrikate zu erhalten, seien einige Sorten mit ihren Nummern und mit ihrer Fadenzahl pro 10 mm mitgeteilt.

	Extrastarke Griesgaze; Ersatz für Metallgewebe.						xxx Triple-extra-Qualität; „allerschwerste Qualität“.		
Nr.	16	26	34	50	62	70	11	14	17
Fadenzahl pro 10 mm	7	$11^1/_2$	15	$21^1/_2$	26	$32^1/_2$	43	51	$61^1/_2$

In welcher Reihenfolge an einem so vorbereiteten Pulver die weitere Trennung nach der Dichte oder nach dem magnetischen oder nach dem chemischen Verhalten bewirkt werden soll, läßt sich nicht allgemein, sondern erst von Fall zu Fall entscheiden; hier kommt es besonders an auf die Geschicklichkeit und die Findigkeit des experimentierenden Forschers.

186. Trennung durch Wasser (Schlämmanalyse). Die Sonderung eines Gemenges verschiedener Mineralien durch strömendes Wasser oder durch Fallenlassen in ruhendem Wasser vollzieht sich überwiegend nach Größe und Form der Körner und in untergeordneter Weise nach deren Dichte. Mit dieser in der Technik bei Aufbereitung der Erze so vorzüglich durchgebildeten Schlämmmethode kann man also eine Trennung der gesteinbildenden Mineralien nicht gut durchführen, wenn nicht ganz erhebliche Unterschiede in der Eigenschwere der Gemengteile vorhanden sind. Da Blättchen erheblich leichter bewegt werden als Körner, so

lassen sich die Mineralien der Glimmergruppe noch am leichtesten von andern trennen.

Man kann hierbei die allerverschiedensten Formen von Gefäßen, hoch oder flach, anwenden, und mit ruhendem oder fließendem Wasser arbeiten. Immer soll man aber besondere Sorgfalt darauf verwenden, die zu schlämmende Masse in allen Teilen vollständig mit Wasser zu durchtränken, sodaß die einzelnen Körnchen und Blättchen möglichst wenig aneinander haften. Bei Sanden ist diese Durchwässerung in einfachster Weise und in kürzester Zeit zu erreichen, bei feineren Tonen gelingt dies aber zuweilen erst nach 12- bis 24stündigem Kochen oder nach längerem Stehenlassen unter Wasser. Das Kochen nimmt man mit 50 g Ton in einem 5-Literkolben, der mit einem fingerdicken 1 m langen dünnwandigen Glasrohr als Luftrückflußkühler versehen ist, vor. Ausführliche Angaben über die Vorbehandlung der Bodenproben zur mechanischen Analyse findet man auch bei Sven Odén, worauf hier verwiesen sei[1]).

Um rasch aus einem Pulver oder aus natürlichem Schutt, Grus, Sand usw. die weit verbreiteten, sog. selteneren und spezifisch schweren Mineralien (Zirkon, Rutil, Anatas, Brookit, Erze, Turmalin, Monazit usw.) abzuscheiden, schlug H. Thürach[2]) folgendes Verfahren vor. Das gesiebte Pulver wird, nach der im bergmännischen Betrieb besonders bei Goldwäschen gebräuchlichen Methode, in dem sog. Sichertrog (Batêa) oder — in Ermanglung eines solchen übrigens einfachen Apparats — in einer gewöhnlichen Porzellanschale von mittlerer Größe mit Wasser geschlämmt, um zunächst die tonigen, leicht schwebenden Teilchen abzuspülen[3]). Zu dem mehr sandigen Rückstand setzt man die doppelte Menge Wasser und bringt ihn durch Schwenken der Schale auf kurze Zeit in schwebende Bewegung, wobei sich die spezifisch schwereren Teile nach unten senken. Neigt man nun die Schale nach der einen Seite, verlangsamt die Bewegung und gießt dabei das Wasser ab, so läßt sich nach einiger Übung die oberste Sandschicht mit der Hand abstreifen. Das Verfahren wird wiederholt, so oft es nötig erscheint. Den dann an den zu isolierenden schweren Mineralien sehr angereicherten Rückstand wäscht man mit reinem Wasser, schwenkt ihn nochmals, wobei der letzte Rückstand an leichtem Sand sich gewöhnlich gut absondert. Nach dem Eintrocknen kann dieser mit einer Feder weggenommen werden. — J. J. H. Teall[4]) siebt das zu trennende Material in einem zweckentsprechend feinen Siebe unter Wasser in einer Porzellanschale. Durch das Sieb gehen nur die mikroskopischen

[1]) Bull. Geol. Inst. Upsala. **16.** 1919. 125—134 und 135—158; Ref. N. J. 1922. I. 346—350.

[2]) Verh. phys.-med. Ges. Würzburg. N. F. **18.** 1884. 204.

[3]) Angaben über die Handhabung der Batêa finden sich bei O. Derby, Proc. Rochester Acad. **1.** 1891. 198—206.

[4]) Min. Mag. **7.** 1887. 201.

Kriställchen der oben genannten Mineralien und der feine Staub, der sich dann leicht durch Schlämmen mit Wasser aufrühren und abgießen läßt.

So gering die Bedeutung der Schlämmanalysen bei der Isolierung von Mineralien ist, so wichtig kann sie werden, wenn es sich um die Sonderung der Bestandteile der natürlichen losen Massen, wie der Sande, Tone, Lehme, Löße oder im allgemeinen des Ackerbodens handelt, da bei diesen Untersuchungen der Gehalt an Feinerde und Sand und ihre Zusammensetzung von großem Wert für die Beurteilung der Böden ist. Unter den zahlreichen Apparaten, die von den Bodenanalytikern erfunden wurden, ist der Schlämmzylinder von J. Kühn und der Schlämmtrichter von Em. Schöne weiter verbreitet; auch dürfte eine von Fr. Eichstädt konstruierte w. u. beschriebene Vorrichtung in manchen Fällen gute Dienste leisten.

Der Kühnsche Schlämmzylinder (Fig. 644)[1]) besteht aus einem 30 cm hohen Glaszylinder von 8,5 cm lichter Weite, der 2 cm unter dem oberen Rand eine Marke und seitlich unten, 5 cm vom Boden, einen Tubus von 1,5 cm Weite trägt. Der Tubus wird durch einen Gummistopfen geschlossen, der genau bis zur inneren Wandung reicht. Das Arbeiten erfolgt immer mit 50 g Ton, den man nach gründlicher Durchfeuchtung (s. S. 702) mit Hilfe des rechts in Fig. 644 abgebildeten Blechtrichters in den Zylinder einfüllt und bis zur Marke mit Wasser bedeckt, mit einem Stab kräftig umrührt und 10 Minuten stehen läßt, worauf das trübe Wasser durch den Tubus abgelassen wird. Nur dieser erste Abfluß erfolgt nach 10 Minuten Ruhe. Im weiteren Verlauf öffnet man den Tubus schon nach je 5 Minuten und wiederholt die Operation so oft — unter Umständen 20mal — bis nach 5 Minuten langem Stehen das abgelassene Wasser klar ist. Um mit diesem Kühnschen Schlämmzylinder nun vergleichbare Resultate zu erhalten, müssen die Dimensionen des Zylinders in allen Teilen und auch die Zeiten des Absetzens sehr genau eingehalten werden; und wenn A. Nowacki in seiner praktischen Bodenkunde[2]) dem Gefäß eine Höhe von 26 cm gibt, den Tubus 4 cm vom Boden, die Auffüllmarke 3,5 cm vom oberen Rand entfernt anbringt und nach dem Umrühren nicht 10 Minuten, sondern 15 Minuten stehen läßt, so ist dies nicht das Kühnsche, sondern etwa das Nowackische Schlämmverfahren. Nowacki will hierdurch eine genauere Scheidung seiner Dur- und Moll-Gesteine erreichen.

---

[1]) Die erste Erwähnung des Schlämmzylinders von Julius Kühn findet sich bei K. Tietschert, Keimungsversuche mit Roggen und Raps usw. Halle 1872. S. 23. Eine ausführliche Anleitung zum Arbeiten mit diesem Apparat gab F. Steinriede mit Erlaubnis des Erfinders, Anleitung zur mineralog. Bodenanalyse. 1. Aufl. Leipzig 1889. 8—13; 2. Aufl. Leipzig 1921. 18—28. Die umstehende Figur ist F. Wahnschaffes „Anleitung zur wissensch. Bodenuntersuchung“ 2. Aufl. 1903 entnommen.

[2]) Dritte Aufl. Thaer Bibl. 1899. 96—99.

Bei dem Schöneschen Schlämmtrichter[1]) kommt es, wenn man vergleichbare Daten erhalten will, auf genaue Einhaltung der vorgeschriebenen Dimensionen fast noch mehr an, als bei dem Kühnschen Zylinder.

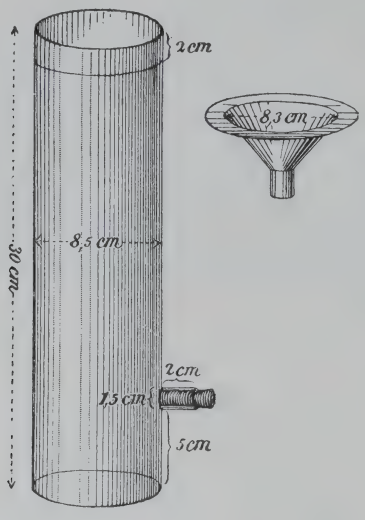


Fig. 644.
Schlämmzylinder nach Jul. Kühn.

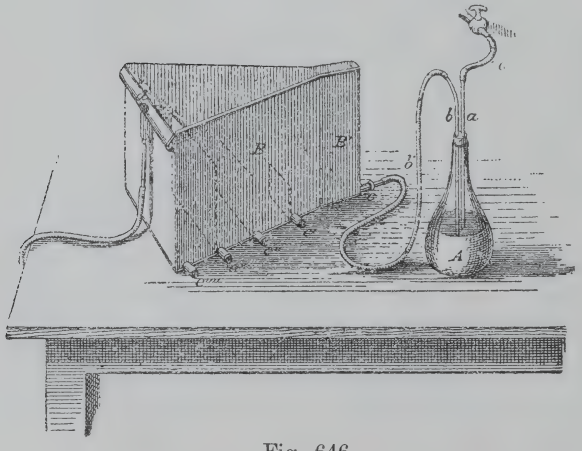


Fig. 646.
Schlämmapparat nach Fr. Eichstädt.

Fig. 645.
Schlämmapparat nach E. Schöne.

Auch ist das ganze Arbeiten mit diesem Apparat ein komplizierteres, aber auch viel genaueres. Der wesentlichste Teil des Schöneschen

[1]) E. Schöne, Über Schlämmanalyse und einen neuen Schlämmapparat. Berlin 1867. 82 S.

Apparats besteht aus einem langen Glasgefäß, das in Fig. 645 nach einer Zeichnung in Ad. Meyers Lehrb. der Agrikulturchemie (1901) abgebildet ist. An den 2 cm langen und ebenso weiten Hals A schließt sich ein zylindrisches Gefäß BC von 10 cm Länge und 5 cm lichter Weite an, das nach unten in einen konisch geformten Glasteil von etwa 50 cm Länge übergeht. Die Fortsetzung bildet das unten bei DE umgebogene Rohr von 5 mm lichter Weite. Zur Ausführung einer Schlämmanalyse bringt man etwas Wasser in das Gefäß, füllt den gut durchfeuchteten Ton ein und läßt alsbald einen Wasserstrom bei D ein und bei A durch ein passendes Rohr und unter geeignetem, den Zufluß regulierendem Druck austreten. Die Geschwindigkeit des senkrecht aufsteigenden Wassers ist in jedem Querschnitt des konischen Gefäßes eine andere und wird erst in dem zylindrischen Teil konstant. Bei einem gewissen Zufluß können also alle in diesen Zylinder hineingelangenden Teilchen weiter bewegt und damit aus der übrigen Masse entfernt werden. Bei verstärktem Zufluß findet das gleiche Spiel für gröbere Körner statt. Wegen der weiteren Ausführung der Methode, auch unter Anwendung von destilliertem Wasser, sei auf die Originalabhandlung oder auf F. Wahnschaffes Darstellung in seiner Anleitung zur wissenschaftlichen Bodenuntersuchung[1]) verwiesen.

Der von Fr. Eichstädt[2]) konstruierte Schlämmapparat (Fig. 646) bringt ein Prinzip zur Anwendung, das sich auch bei einem nach Nöbel benannten Apparat findet und das schon in den sogenannten Spitzkastenapparaten der Aufbereitungsmaschinen für Erze anzutreffen ist. Der Wasserstrom wird dadurch verlangsamt, daß man ihn durch Gefäße von immer größer werdendem Querschnitt schickt. Nach Ablauf der Operation finden sich dann in diesen Gefäßen die Proben in verschiedener Korngröße. Der Schlämmkolben A (Fig. 646) aus Glas steht durch die Glasröhre a und das Kautschukrohr a′ in Verbindung mit der Wasserleitung. Das Rohr a reicht bis fast auf den Boden des Kolbens, durch dessen Stöpsel eine zweite Glasröhre b etwa bis in die Mitte des Kolbens reicht, der ungefähr 1,5—2 Liter Wasser fassen kann. Das Kautschukrohr b' verbindet den Schlämmkolben A mit dem Kasten B, der aus Weißblech angefertigt ist. Die Grundfläche dieses Kastens hat die Form des Vertikalschnittes durch einen Trichter. Der Kasten besteht eigentlich aus zwei Teilen: der parallelflächigen Rinne B' und dem dreieckigen Kasten B, dessen Seitenwände unter 50° zu einander geneigt sind. Die ganze Länge des Kastens von der hinteren Wand der 1 cm breiten Rinne B' bis zur Vorderwand von B beträgt 60 cm, davon fallen 15 cm auf die Rinne B' und 45 cm auf den Kasten B. Die Breite des Kastens an der Vorderwand mißt 43 cm, die Höhe 32 cm. Die Vorderwand des Kastens ist etwas niedriger als die Seitenwände, damit das Wasser gut

[1]) Berlin 1903. 31—44.

[2]) G. F. i. Stockh. Förh. **10.** 1888. 83; Ref. N. J. 1889. II. 458—459.

überfließen und durch eine Röhre bei d abgeleitet werden kann. Wichtig ist es, daß die niedrigere Vorderwand vollkommen horizontal liegt. Der Kasten B ist in Abständen von 11 cm durch drei Querwände von 7, 14 und 21 cm Höhe in 4 Teile geteilt; eine nur 2 cm hohe Querwand befindet sich überdies dort, wo die Rinne B' in den Kasten B mündet. Die Rinne B' kann durch das Einlaufrohr bei c, die andern Abteilungen des Kastens können durch die mit Pfropfen verschlossenen Öffnungen c', c'', c''', c'''' entleert werden. Soll der Apparat gebraucht werden, so füllt man zunächst den Kasten B und die Rinne B' mit Wasser; schüttelt in dem etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllten Schlämmkolben A das zu trennende Sand-, Ton-, Lehm- usw. Gemenge gut auf und läßt nun durch a den Strahl aus der Wasserleitung mit solcher Geschwindigkeit eintreten, daß er in 10 Minuten etwa ein Liter Wasser liefert. Die feinen Tonteilchen werden durch den Wasserstrom durch die Röhre b und den Schlauch b' in die Rinne B' und den Kasten B geleitet, wo die Stromkraft von Abteilung zu Abteilung immer schwächer wird. Am Boden der Rinne setzt sich gröberes Material ab, während die feinsten Ton- und Glimmerblättchen nach Vollendung des Versuchs allmählich nach ihrer Größe in den verschiedenen Abteilungen des Kastens B zu Boden sinken. Hebt man dann mit einem Heber das Wasser im Kasten B ab, so kann man mit Hilfe eines kräftigen Wasserstrahls den Bodensatz durch die Öffnungen bei c', c'', c''', c'''' in verschiedene Gefäße spülen.

187. Trennung durch schwere Flüssigkeiten. Eine genaue Sonderung nicht nach der Korngröße, sondern nach der Dichte der Gemengteile eines Pulvers erhält man nur bei Anwendung solcher Flüssigkeiten, die schwerer sind als wenigstens ein Teil des Pulvers, sodaß dieser Teil auf der Flüssigkeit schwimmt und der Rest zu Boden sinkt. In Paragraph 182 und 183 ist eine ganze Anzahl von Flüssigkeiten beschrieben, wie sie zur Bestimmung der Dichte der Mineralien durch die Suspensionsmethode dienen; nach ihrem hier zu besprechenden weiteren Zweck kann man sie auch Trennungsflüssigkeiten nennen.

Die mechanische Trennung eines Pulvers nach der Dichte könnte etwas umständlich werden, wenn man aufs Geratewohl die Lösungen verdünnen wollte. Viel rascher gelangt man zum Ziel, wenn man sich vorher auf mikroskopischem Wege über die zu trennenden Mineralien orientiert hat und man also mit Hilfe der auf Seite 812 und 813 am Schluß dieses Werks mitgeteilten Tabelle wenigstens annähernd weiß, welche Dichten den zu trennenden Mineralien etwa zukommen. Man wird dann der Trennungsflüssigkeit eine bestimmte Dichte, die zwischen den Dichten der zu trennenden Körper liegt, geben und dieses entweder mit Hilfe der auf S. 680 abgebildeten Westphalschen Wage oder auf anderm Wege durch sog. Indikatoren erreichen.

Die Westphalsche Wage eignet sich weniger zur Einstellung einer Flüssigkeit auf eine bestimmte Dichte, als zur Messung der Dichte

von einer bestimmten Lösung. Dagegen sind die Indikatoren für den ersteren Zweck gut zu gebrauchen. Als Indikatoren benutzt man Mineralstückchen, deren Dichte man bestimmt hat, und die man in größerer Anzahl in Gläschen bereit hält. V. Goldschmidt hat eine solche Skala mit geeigneten Intervallen während seiner Arbeiten im mineralogisch-geologischen Institut der Universität Heidelberg zusammengestellt. Eine den gewöhnlichen Zwecken genügende Auswahl sei hier mitgeteilt[1]).

Ordn.-Zahl	Name	Fundort	Dichte	Ordn.-Zahl	Name	Fundort	Dichte
1.	Schwefel	Girgenti	2,070	11.	Quarz	Middleville . . .	2,650
2.	Hyalit	Waltsch	2,160	12.	Labradorit	Labrador	2,689
3.	Opal	Scheiba	2,212	13.	Calcit	Rabenstein . . .	2,715
4.	Natrolith	Brevig	2,246	14.	Dolomit	Muhrwinkel . . .	2,733
5.	Pechstein	Meißen	2,284	15.	Dolomit	Rauris	2,868
6.	Obsidian	Lipari	2,362	16.	Prehnit	Kilpatrick	2,916
7.	Perlit	Ungarn	2,397	17.	Aragonit	Bilin	2,933
8.	Leucit	Vesuv	2,465	18.	Aktinolith	Zillertal	3,020
9.	Adular	St. Gotthard . . .	2,570	19.	Andalusit	Bodenmais . . .	3,125
10.	Elaeolith	Brevig	2,617	20.	Apatit	Ehrenfriedersdorf .	3,180

Soll die Lösung genau die Dichte eines in der Skala befindlichen Indikators erhalten, so wirft man diesen in die Lösung und bringt durch Zusatz von Wasser nach tüchtigem Umrühren den Indikator zum Schweben. Sobald dieser an jeder Stelle in der Lösung verharrt, wohin man ihn stößt, ist die Lösung eingestellt und hat genau die gewünschte Dichte. Liegt diese zwischen derjenigen von zwei Indikatoren der Skala, so wirft man beide in die Flüssigkeit und stellt diese in angegebener Weise so ein, daß der schwerere sinkt, der leichtere steigt. Nach dem Einstellen der Flüssigkeit hebt man die Indikatoren mit einem am unteren Ende spiralförmig umgebogenen Platindraht heraus, damit sie die Trennung nicht hindern.

A. Johnsen und O. Mügge verwenden für derartige Indikatoren Würfel von 4 mm Kantenlänge aus Jenaer Glas, die auf fünf Seiten mattgeschliffen und mit Graphit geschwärzt sind, um sie in der Lösung bequem sichtbar zu machen, während auf der sechsten glatten Seite die Dichte eingraviert ist[2]). Eine solche Serie von acht Indikatoren zeigt die Dichten 2,48, 2,59, 2,68, 2,78, 2,88, 2,98, 3,01, 3,15. G. Linck[3]) hat diese Reihe über 24 Glieder ausgebaut mit den Dichten von 2,240 bis 3,555; er gibt den einzelnen Würfelchen eine Kantenlänge von 6 mm. Diese Skala wird von Dr. F. Krantz in Bonn vertrieben. V. Goldschmidt ging noch weiter und hat im Anschluß an seine oben erwähnte Indikatoren-Skala nunmehr eine aus Glas und Mineralien ge-

[1]) N. J. B. B. **1.** 1881. 215; ferner Verh. K. K. Reichsanst. Wien 1883. 68. Derartige Indikatoren sind von Mechaniker P. Stoë Nachfolger, Heidelberg, zu beziehen.

[2]) Zentralbl. f. Min. usw. 1905. 152—153.

[3]) Zentralbl. f. Min. usw. 1912. 508—509.

mischte Skala von nicht weniger als 34 Gliedern mit den Dichten zwischen 2,060 und 3,295 zusammengestellt[1]). Die vergrößerte Skala ist wie die schon erwähnte von P. Stoë Nachf., Heidelberg, zu beziehen. J. E. Wolff[2]) fertigte Indikatoren aus Glasröhrchen, die durch eingeschlossenes Quecksilber oder Blei beschwert sind, an und versah sie auch mit einem eingeschmolzenen Platinhaken, um sie leicht aus der schweren Lösung herausholen zu können.

Ist die Scheidung eines bestimmten Quantums aus dem Mineralgemenge erfolgt, so bestimmt man die Dichte der Lösung endgültig wieder mit der Westphalschen Wage. Man kann diese Messung sehr bequem auch während einer Trennung vornehmen, wenn man nach G. Linck[3]) das in Fig. 647 abgebildete Glasröhrchen in die Lösung einsenkt. Dasselbe ruht mit den drei seitlich angeschmolzenen Glasarmen auf dem Rand des Scheidetrichters (s. § 188) und füllt sich durch das umgebogene Röhrchen bei *a* mit der Lösung, ohne daß die schwebenden Mineralkörner eindringen könnten. Der Senkkörper der Westphalschen Wage wird dann in die Lösung innerhalb der Röhre *r* getaucht.

Die zur Trennung dienenden Gefäße sind verschieden, je nachdem man die bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen Lösungen oder die schweren Schmelzen verwendet, und je nachdem man ein Pulver in ungefähr gleiche Teile trennen will oder aus einer größeren Menge ein kleines Quantum abzusondern beabsichtigt.

188. Einfache Trennungsapparate. Jedes mit Ausguß versehene schlanke Becherglas kann als Scheideapparat dienen, wie schon V. Goldschmidt[4]) hervorhob; die Größe hat sich dem zu scheidenden Pulverquantum anzupassen. Diese Bechergläser gestatten ein vollkommenes Umrühren des zu trennenden Pulvers mit der Lösung und eine bequeme Mischung dieser mit dem behufs Verdünnung zugesetzten Wasser. Der verhältnismäßig große Querschnitt verhindert das die Trennung störende Zusammenbacken verschieden dichter Körner. Unbequem ist nur das Sammeln der ausgefallenen Pulver von den schwimmenden. Man muß letztere mit der Lösung abgießen und dann die ausgefallenen Mengen durch einen Wasserstrahl in ein reines Gefäß zum Zweck des Auswaschens überspülen. Hierbei ist eine Vermengung mit den an den Gefäßwänden haftenden Körnern, die vorher schwammen, schwer vermeidlich; doch behält dieser einfache Apparat immer seinen Wert bei vorläufigen Trennungen von Gemengen, die in zwei etwa gleiche Portionen zerlegt werden sollen. Zweckmäßig und nicht so zerbrechlich wie die Bechergläser sind Glaszylinder mit Fuß, Rand und Ausguß von 3 cm lichter Weite und 8 cm Höhe, in die man bis zu 50 ccm Lösung füllen

[1]) Zentralbl. f. Min. usw. 1913. 39—44.
[2]) Bull. U. S. Geol. Survey, **150.** 1898. 21.
[3]) Inaug. Dissert. Straßburg i. E. 1884. 41.
[4]) N. J. B. B. **1.** 1881. 214.

kann. Man verarbeitet hierin bei rohen Vortrennungen bis zu 10 g Pulver. Hat man aus einer größeren Menge Gesteinspulver relativ wenig schwere Körner zu trennen, so kann man, um an Flüssigkeit zu sparen, nach L. van Wervekes Vorschlag[1]) sich eines Scheidetrichters bedienen, dessen Hahn nicht unmittelbar unter dem eigentlichen Trichter, sondern etwas tiefer in seinem Rohr angebracht ist (Fig. 648), und bei dem die Durchbohrung genau so groß ist, wie das Lumen der Röhre, damit sich in den sonst vorhandenen Ecken kein Pulver festsetzt. Die Mengung geschieht vermittelst eines Glasstabes.

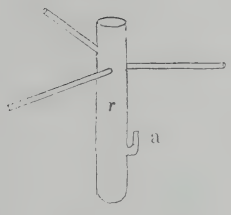


Fig. 647.
Lincksches Röhrchen zur Dichtebestimmung.

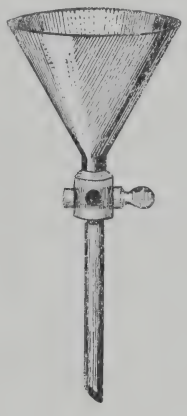


Fig. 648.
van Wervekescher Scheidetrichter.

Fig. 649.
Haradascher Scheidetrichter.

Hat man umgekehrt aus einer größeren Menge Gesteinspulver relativ wenig leichte Körner abzuscheiden, so benutzt man, ebenfalls um an Flüssigkeit zu sparen, ein sich nach oben verengendes Glas, z. B. ein sog. Erlenmeyersches Kölbchen, das schon den in den feineren Scheideapparaten vorhandenen Vorteil besitzt, die Trennung in abgeschlossenem Raum vornehmen zu können, sodaß keine Verdunstung zu befürchten ist.

Das Reinigen des Pulvers von der anhaftenden Lösung muß sehr intensiv geschehen. Glimmerartige Mineralien können von Jodmethylen auch nach 6maligem flüchtigen Waschen mit Benzol noch deutliche Mengen festhalten. Man muß dann in einem kleinen Kölbchen mit Luftrückflußkühler mit wenig Benzol jedesmal eine Viertelstunde kochen und dekantieren und diese Operation 4—6mal wiederholen, bis einige Tropfen des Waschbenzols keine merkbaren Spuren von Jodmethylen auf einem Uhrglas hinterlassen.

[1]) N. J. 1883. I. 86–87.

189. Feinere Trennungsapparate. Bei sorgfältigen Trennungen muß man immer mit geschlossenen Gefäßen arbeiten, weil die Lösungen teils durch stärkere Verdunstung des Verdünnungsmittels, teils durch hygroskopische Eigenschaften der Salze ihre Dichte ändern könnten.

Der handlichste, solideste und bequemste Trennungsapparat ist wohl ein Scheidetrichter von der in Fig. 649 angegebenen Form, den T. Harada[1]) zuerst im Rosenbuschschen Institut in Heidelberg benutzt hat. Ein aus kräftigem Glas angefertigtes, lang birnenförmiges Gefäß wird oben durch einen eingeschliffenen Glaßstöpsel, an dem verjüngten unteren Ende durch einen Glashahn mit einer der Weite des unteren Rohres gleichen Bohrung geschlossen. Lösung und Pulver werden von oben eingeführt, der Stöpsel aufgesetzt und die Mengung von Pulver und Lösung durch Schütteln bewirkt. Sobald sich zwischen dem ausfallenden und schwebenden Pulver eine klare Flüssigkeitsschicht bildet, setzt man unter den Apparat ein kleines Glas so, daß das untere Ende des Apparats fast den Boden des Glases berührt, und öffnet den Hahn. Es fällt ein kleiner Teil der Lösung aus, nur wenige Tropfen, bis der Luftdruck die Flüssigkeitssäule trägt, worauf die Trennung des schwereren Pulvers, das in das Glas fällt, vollkommen automatisch vor sich geht. Man muß vermeiden, daß sich im engeren Teil des Apparats eine Luftblase einschiebe; ist dieses dennoch geschehen, so bringt man sie durch vorsichtiges Klopfen an dem Apparat zum Steigen. Hat alles ausfallende Pulver den Hahn passiert, so schließt man diesen, bringt eine Wasserschicht auf die Lösung im Gläschen und hebt den Apparat so weit, daß sein Ende nun in die Wasserschicht gelangt. Das Wasser steigt dann stürmisch bis zum Hahn und läßt alles unterhalb befindliche Pulver in das Gläschen fallen. Die weitere Verdünnung zum Zweck einer zweiten usw. Pulverabscheidung bewirkt man durch Zusatz einiger Tropfen Wasser von oben, oder besser dadurch, daß man den Apparat aus dem kleinen Glas hebt, umkehrt und durch den geöffneten Hahn die im engen Teil durch Wasserzutritt gebildete verdünnte Lösung in den birnenförmigen Teil des Apparats eintreten läßt und wohl noch einige Tropfen Wasser hinzufügt. Nach dieser Operation ist das untere Rohr durch kleine Röllchen aus Filtrierpapier zu trocknen. Die Mischung wird wieder durch Schütteln vollzogen, und die Operation in der angegebenen Weise wiederholt. Solche Haradaschen Trennungsapparate liefert in Dimensionen von 25—35 cm Länge die Firma C. Desaga in Heidelberg, sowie jede andere größere Firma chemischer Apparate und Utensilien. — A. Johnsen nnd O. Mügge haben den Haradaschen Trichter durch Erweiterung der Hahnöffnung verbessert, damit die kleinen Glasindikatoren (s. o. S. 707) von 4 mm Kantenlänge hindurchwandern können und nicht auf umständliche Weise herausgehoben werden müssen. Auch diese verbesserte Form des „Harada“ kann von Desaga bezogen werden.

[1]) N. J. B. B. **1**, 1881. 457.

Durch den Haradaschen Trichter sind die von J. Thoulet[1]) und K. Oebbeke[2]) vorgeschlagenen Konstruktionen weniger gebräuchlich geworden. Der Thouletsche Apparat ist in Fig. 650 abgebildet. In die Röhre *A* gießt man nach Schließung der Hähne *C* und *D* etwa 60 ccm der Lösung und schüttet darauf 1—2 g des zu trennenden Pulvers von oben her langsam nach. Man verschließt die Röhre mit dem Stopfen *E*

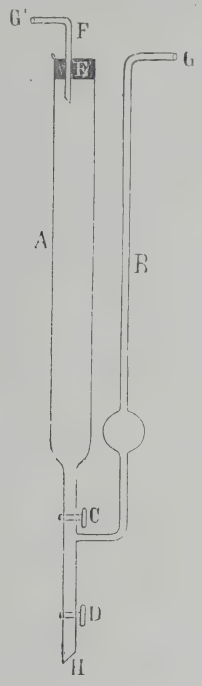


Fig. 650.
Thouletscher Trennungsapparat.

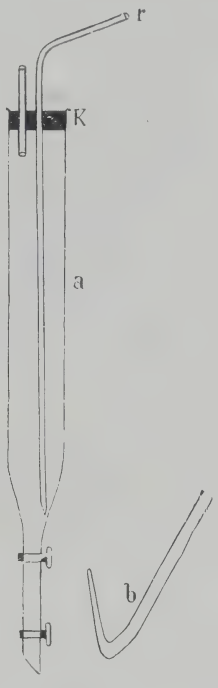


Fig. 651.
Oebbekescher Trennungsapparat.

und verbindet das Innere durch einen bei *G'* aufgeschobenen Kautschukschlauch mit einer Luftpumpe, um die Gasatmosphäre von den Pulverkörnern zu entfernen. War das Pulver kurz vorher gut ausgekocht, so ist diese Operation nicht nötig. Um eine gründliche Mischung des Pulvers mit der Lösung zu bewerkstelligen, bläst man bei *G* durch die Röhre *B* und bei geöffnetem Hahn *C* einen Luftstrom durch die Flüssigkeit in *A*. Bei einiger Aufmerksamkeit gelingt es leicht, jedes Abfließen der Lösung durch den geöffneten Hahn *C* zu vermeiden. Es fällt nun, nachdem man den Hahn *C* wieder geschlossen hat, alles Pulver, das schwerer ist als die Lösung, nieder und setzt sich im unteren Teil der Röhre *A* ab. Man

[1]) Bull. Soc. Min. Fr. **2.** 1879. 18—22.
[2]) N. J. B. B. **1.** 1881. 456.

öffnet den Hahn *C* und läßt das Pulver rasch in den Raum zwischen *C* und *D* fallen. Dabei steigt ein Teil der Lösung natürlich in die Röhre *B*, die eine kugelförmige Erweiterung trägt. Ist das Pulver durchgelaufen, so schließt man den Hahn *C*, taucht den Apparat mit dem Ende *H* in ein mit Wasser gefülltes Gefäß, öffnet den Hahn *D* und läßt so das Pulver in das untergesetzte Gefäß ablaufen. Um den Raum zwischen den beiden Hähnen und die Röhre *B* rein zu spülen, hebt man das Wasser durch Saugen bei *G* so hoch und so oft, als nötig scheint. Die in dem Sammelgefäß, worin das abgeschiedene Pulver aufgefangen wurde, befindliche verdünnte Lösung wird abgegossen, das Pulver mehrere Male mit Wasser gut ausgewaschen und auch dieses Waschwasser mit der abgegossenen Lösung vereinigt, damit dieselbe filtriert und eingedampft wieder mit der konzentrierten Lösung vereinigt werden kann; der hohe Preis der Lösungen nötigt eben zur Vermeidung jeden Verlustes. Es wird nun in die Röhre *A* tropfenweise wieder so viel Wasser zugefügt und durch einen Luftstrom in angegebener Weise mit der Lösung und dem Pulver gemischt, wie nötig erscheint, um eine zweite Ausfällung des nächst schwereren Pulvers zu erzielen; das ausfallende Pulver wird ebenso abgelassen wie vorher und in dieser Weise die Operation fortgesetzt, bis die gesamte Pulvermenge in eine Anzahl Portionen von verschiedener Dichte getrennt ist.

Der Thouletsche Apparat hat manche Unbequemlichkeiten. Abgesehen von seiner Zerbrechlichkeit verstopft sich sehr leicht der enge Raum über dem Hahn *C*. Ferner gelingt es nicht, die beim Absetzen des ausfallenden Pulvers auf dem tellerartigen Teil der Röhre über *C* sich sammelnden Körner ablaufen zu lassen; sie mischen sich also stets mit den später ausfallenden leichteren Pulvern.

Oebbeke verringerte die Zerbrechlichkeit des Thouletschen Apparats in der durch Fig. 651 angegebenen Weise. Die Mischung von Pulver und Lösung geschieht durch einen Luftstrom, der durch die bis auf den Boden reichende dünne, durch den Kork *K* gehende Röhre eingeblasen wird. Der Raum zwischen den beiden Hähnen wird vermittelst einer kapillar ausgezogenen, umgebogenen Glasröhre *b* durch einen feinen Wasserstrahl ausgespült.

190. Trennungsapparate mit Wiederholung. Dem Haradaschen Trennungsapparat haftet, wie allen, zumal den engeren und röhrenförmigen Apparaten, der Übelstand an, daß das niederfallende Pulver einen gewissen Teil des schwebenden Pulvers mechanisch mit fortreißt, und umgekehrt das leichtere Pulver einen Teil des schwereren mechanisch emporhebt. Auch bleibt in dem Raum zwischen Flüssigkeit und Glasstopfen infolge des Schüttelns an den Gefäßwänden ein gemengtes Pulver hängen, dessen schwerere Teile alle späteren, leichteren Fällungen verunreinigen. Besonders störend machen sich diese Nachteile bei der Trennung sehr feinkörniger Pulver bemerkbar, sodaß hier die oben beschriebenen Apparate

vollständig versagen können. Diesem Übelstand suchte W. C. Brögger[1]) durch eine glückliche Abänderung des Haradaschen Apparats abzuhelfen. Er brachte, wie Fig. 652 zeigt, in der Mitte des Trichters einen zweiten Hahn an, dessen Durchbohrung dasselbe Lumen hat, wie der Apparat selbst. Fig. 652 zeigt den Apparat nach der ersten Ausfällung des schwereren Pulvers s_1 bei geöffnetem mittleren Hahn A. Das über dem unteren Hahn B liegende Pulver s_1 ist durch einen Teil des leichteren Pulvers s_2', das oben schwimmende leichtere Pulver s_2 durch einen Teil des

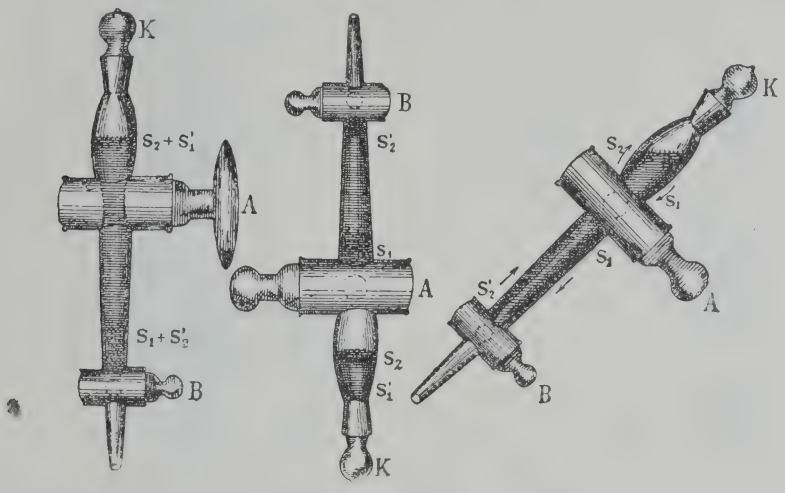


Fig. 652. Fig. 653. Fig. 654.

Bröggerscher Trennungsapparat.

schwereren s_1' verunreinigt. Schließt man dann den Hahn A, schüttelt kräftig und kehrt den Apparat um, so wird nach einiger Zeit eine Sonderung der in den beiden Teilräumen vorhandenen Pulver sich vollziehen, wie dies Figur 653 darstellt. Bringt man nun den Apparat langsam in die Stellung wie in Fig. 654, so werden die in jedem Teilraum des Apparats befindlichen schwereren Pulver s_1 und s_1', sowie die leichteren s_2 und s_2' die durch die Pfeile angedeutete Bewegung vollziehen, ohne sich zu mischen. Ist diese Bewegung so weit vollendet, daß sich s_2' unmittelbar unter, s_1' unmittelbar über dem Hahn A befindet, so öffnet man diesen vorsichtig, und das Pulver s_2' gleitet an der oberen Wand des Apparats in dessen oberen Teilraum, während s_1' ebenso entlang der unteren Wand in den unteren Teilraum wandert. Hierauf schließt man den Hahn A und wiederholt beliebig oft die ganze Operation von vorne.

In kleinerem Format und mit einigen aus Fig. 655 ersichtlichen Modifikationen hat H. Laspeyres[2]) das Bröggersche Prinzip an einem

[1]) G. F. i. Stockh. Förhdl. **7**. 1884. 417.
[2]) Z. X. **27**. 1896. 44–45.

Apparat zur Anwendung gebracht, der für etwa 12 ccm Flüssigkeit berechnet ist; er kann von der Firma Müller, Geißlers Nachfolger, in Bonn bezogen werden.

Ebenfalls nach dem Bröggerschen Prinzip ist der in Fig. 656a abgebildete kleine Trennungsapparat von Alb. Hauenschild[1]) konstruiert worden. An Stelle des mittleren durchbohrten Hahns bei Brögger ist hier der Konus mit zweiseitiger Fräsung getreten (Fig. 656b). Oben und unten wird das 15 mm im Lichten messende Mittelstück durch kleine

Fig. 655.
Laspeyresscher Trennungsapparat.

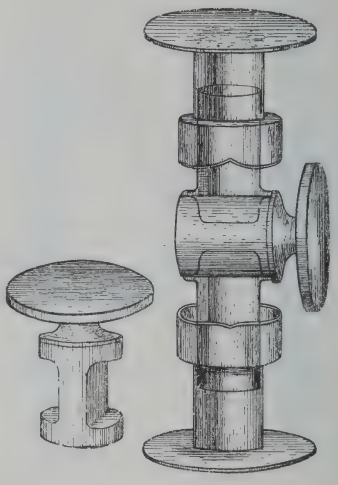


Fig. 656b. Fig. 656a.
Hauenschildscher Trennungsapparat.

aufgeschliffene Gefäße abgeschlossen, die mit Rinnen zur Aufnahme von etwa austretenden Tropfen der Trennungsflüssigkeit versehen sind und dem Apparat zugleich als Fuß dienen. E. Kaiser hat den Bröggerschen Mittelhahn bei seiner von der Glasbläserei H. Kohe & Co., Berlin, hergestellten und im ganzen sich an Hauenschild anlehnenden Konstruktion wieder eingeführt und auch die Hauenschildschen Verschlußgefäße wenigstens an einer Seite übernommen[2]). Der ganze sehr schlank gebaute Trennungsapparat hat einen Inhalt von 17 ccm. Wieder eine etwas andere Form wählte F. Stöber, der den Mittelhahn dadurch vermied, daß er die beiden Teilräume in zwei großen aufeinander geschliffenen ringförmigen Platten zusammenstoßen ließ und durch Verschiebung auf diesen Platten bald Verbindung bald Trennung bewirkte[3]).

Auch ist der Bröggersche Gedanke der Repetitionstrennung in einer von den obigen Konstruktionen etwas abweichenden Form, durch

[1]) Zeitschr. f. Baumaterialienkunde. März 1898.
[2]) Zentralbl. f. Min. usw. 1906. 475—477.
[3]) Z. X. **54**. 1914. 286—287.

den in Figuren 657 und 658 abgebildeten Wülfingschen Apparat schon 1890 zur Ausführung gelangt [1]). Hier ist nicht nur der große, sehr zerbrechliche und bei den leichter beweglichen Flüssigkeiten kaum dicht zu haltende Mittelhahn vermieden, sondern auch die der Trennung hinderliche Einschnürung ist umgangen.

Ein elliptisch geformter, hohler Glasring (Figuren 657 und 658) ist an den Enden des größeren Durchmessers mit Hähnen A und B versehen, die eine Verbindung oder Trennung der beiden Hälften gestatten; ihre seitlichen Ausfräsungen haben genau die Weite der anschließenden Rohrstücke. Zwei Öffnungen mit Glasstopfen dienen zum Ein- und Aus-

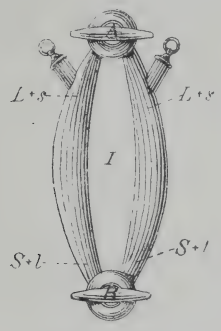


Fig. 657.

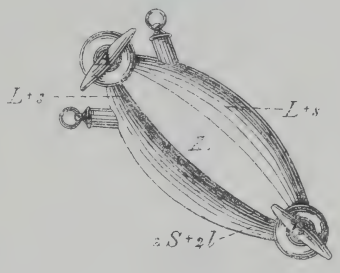


Fig. 658.

Wülfingscher Trennungsapparat.

gießen der Trennungsflüssigkeit und des zu trennenden Pulvers. Man füllt den Apparat mit etwa 30 ccm Trennungsflüssigkeit zu $^3/_4$, gibt das Pulver in beide Schenkel, schüttelt und stellt die Flüssigkeit durch Öffnen der Hähne in beiden Hälften gleich hoch. Alsdann schließt man die Hähne und läßt bei der in Fig. 657 gezeichneten Stellung die erste Sonderung sich vollziehen. Das leichte Pulver geht mit wenig schwerem $(L + s)$ in beiden Schenkeln nach oben, das schwere mit etwas leichtem $(S + l)$ nach unten. Öffnet man nun den Hahn B und bringt den Apparat in eine geneigte Stellung (Fig. 658), so vereinigt sich das Pulver $S + l$ des rechten Schenkels mit dem des linken, was man noch dadurch beschleunigt, daß man in dieser Stellung auch den Hahn A öffnet und unter Benutzung der Druckdifferenz die schwere Portion von rechts nach links wandern läßt. Ist auf diese Weise die Flüssigkeit im linken Schenkel bis zum Hahn A gestiegen, so schließt man den Hahn B und schüttet durch passende Neigung den Überschuß mit dem oben darin schwimmenden Pulver $L + s$ in den rechten Schenkel hinüber. Sollte nicht alles Pulver $L + s$ in den rechten Schenkel gewandert sein, so schiebt man die Flüssigkeit noch einmal durch den wieder geöffneten Hahn B in

[1]) N. J. B. B. **7**. 1890. 164.

den linken Schenkel bis zum Hahn *A* vor, schließt *B* und gießt noch einmal über. Wird dann auch *A* wieder geschlossen und der Apparat gut geschüttelt, so kann die Trennung beliebig oft wiederholt werden. Auch dieser Repetitions-Trennungsapparat wird von C. Desaga, Heidelberg, vertrieben.

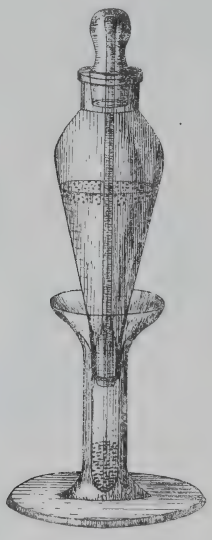


Fig. 659.
Dillerscher Trennungsapparat.

Fig. 660.
Clericischer Trennungsapparat.

Auf wieder einem etwas andern Wege suchte W. J. Smeeth[1]) die Repetitionstrennung zu ermöglichen; sein Apparat wurde durch J. S. Diller[2]) in die durch Fig. 659 angegebene handliche Form gebracht. Der wie ein Standgläschen gebildete Fuß trägt oben eingeschliffen ein birnförmiges Gefäß, das unten und oben durch den inneren und äußeren Stopfen abgeschlossen werden kann. Vor der ersten Trennung ist der Innenstopfen zu entfernen und erst nach vollzogener Separation einzustecken. Einiges Schütteln des ganzen Apparats leitet die zweite Trennung ein, nach der die schweren und leichten Bruchteile durch Lüftung des inneren Stopfens und durch passende Neigung des ganzen Gefäßes aneinander vorbeigeführt werden.

Eine mit den einfachsten Mitteln erreichte Form eines Trennungsapparates hat J. W. Evans schon 1891[3]) der Smeethschen Idee gegeben. Die Schliffe sind durch Korke und Gummischläuche ersetzt und der innere lange Stopfen ist hohl und hat unten eine feine Öffnung, damit man hindurchblasen und die Flüssigkeit mit den Körnern durch-

[1]) Proc. Roy. Soc. Dublin. Mai 1888. 58; s. auch W. J. Sollas, Q. J. G. S. **58.** 1902. 166.

[2]) „Science" **3.** 1896. 857—858.

[3]) Geol. Magaz. **8.** 1891. 67—70.

mischen kann. Weitere Abänderungen und auch manche technische Vereinfachungen haben E. Clerici[1]), H. Hartley[2]), O. Luedecke (beschrieben von O. Dreibrodt[3]) und O. Riedel[4]) angegeben. Unter allen diesen zeichnet sich aber durch seine Einfachheit und Zweckmäßigkeit der in Fig. 660 abgebildete kleine Apparat von E. Clerici aus, der im Prinzip mit den Konstruktionen in den Figuren 659 und 661 übereinstimmt, aber wie bei Evans alle Glasschliffe vermeidet und den Stand der Flüssigkeit im oberen Rohr *a* und im unteren Röhrchen *b* durch die Korke *c* und *d*, die mit der Flüssigkeit in keine Berührung kommen, reguliert. Man füllt den bei *c* geöffneten und bei *d* geschlossenen Apparat mit Flüssigkeit und Pulver, läßt einiges von der Lösung durch passende Bewegung am Kork *d* in das Röhrchen *b* eintreten, und schließt dann auch oben bei *c*. Nach vollendeter Trennung liegen die schweren Teile in *b*, die leichten in *a*. Nun hebt man das Rohr *a* bei geschlossenem Kork *c* und gelockertem Kork *d* aus dem Rohr *e* heraus und nimmt die weitere Entleerung von *a* und *b* in üblicher Weise vor. — Konstruktionen von Appiani und D. Orzi sind mir nur in Zitaten bekannt geworden.

191. Trennungsapparate für schwere Schmelzen. Bei der Trennung von Mineralien von höherer Dichte als sie die schwersten bei gewöhnlicher Temperatur flüssigen Lösungen haben, muß man Schmelzen anwenden, von denen besonders das Thallium-Merkuro-Nitrat S. 695 hervorgehoben wurde. Um die hier schon etwas schwierigere Trennung zu erleichtern, hat Penfield einen in der Konstruktionsidee dem Dillerschen Gefäß nahekommenden, sinnreichen kleinen Apparat konstruiert, der in Fig. 661 in $^1/_5$ der wirklichen Größe abgebildet ist[5]). Die mittlere Röhre *b* von ungefähr 20 cm Länge und 2,2 cm lichter Weite ist unten verengt und mit der gut aufgeschliffenen Kappe *c* und dem hohlen Stopfen *a* versehen. Das Ganze steckt in einem großen Reagenzglas, das in einem mit Wasser gefüllten Becherglas erhitzt wird. Zu einer Scheidung zieht man den langen Stopfen *a* heraus und füllt *c* und *b* mit dem vorher geschmolzenen und mit Wasser passend verdünnten Doppelsalz etwa bis zur Hälfte, fügt das Mineralpulver hinzu und mischt gut durch Einblasen von Luft mittelst des hohlen Stopfens. Ist die Scheidung beendet, so schließt man durch den Stopfen *a* den schweren

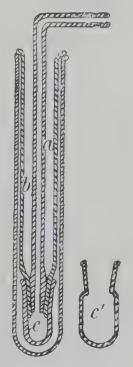


Fig. 661.
Penfieldscher Trennungsapparat.

[1]) R. Accad. Lincei. **13.** 1904. 637—639; **14.** 1905. 585—586; Ref. Z. X. **42.** 1907. 53—54.

[2]) Min. Magaz. **14.** 1905. 69—71.

[3]) Zentralbl. f. Min. usw. 1911. 425—426.

[4]) Z. X. **50.** 1912. 141—143.

[5]) Z. X. **26.** 1896. 135—136; Amer. Journ. **50.** 1895. 446—448; s. auch Kreider und Penfield, Amer. Journ. **48.** 1894. 143.

Teil von dem leichten ab, entfernt die Kappe *c*, befreit sie von dem Inhalt und setzt sie nach sorgfältiger Reinigung wieder auf, um nach weiterer Verdünnung der Schmelze eine zweite Portion zu trennen. Ein etwas größeres Gefäß *c'* findet bei reichlicherer Menge des schwereren Teils Verwendung.

192. Grenzen der Anwendbarkeit der Trennungsmethoden durch schwere Lösungen und Schmelzen. Das vollständige Gelingen einer mechanischen Sonderung nach der Dichte und zumal die quantitativ genaue Sonderung eines Gemenges wird durch folgende Umstände gehindert: 1. durch die Unmöglichkeit, ein Pulver herzustellen, das aus lauter einheitlichen Körnern besteht; 2. durch die Schwankungen in der Dichte der Gemengteile, die durch Interpositionen der verschiedensten Art bedingt werden und 3. durch die Änderungen der Dichte, welche die Mineralien durch Verwitterung, Zersetzung und Umwandlung erfahren. Man muß sich mit einer möglichst großen Annäherung an die homogene Reinheit der ausgeschiedenen Pulver begnügen, und sich daran gewöhnen, daß man bei jeder Trennung außer den annähernd reinen Portionen auch Zwischenprodukte in größerer oder geringerer Menge, d. h. Gemenge mehrerer verwachsener Mineralien, nebst mehr oder weniger veränderten Körnchen erhält, die unverwendbar sind. Wie weit die Annäherung an absolute Reinheit der Pulver getrieben werden kann, hängt in erster Linie von der Natur des zu trennenden Materials, dann aber auch in hohem Grade von der Übung und der Geschicklichkeit des Arbeiters und seiner Geduld ab.

Blättrige Mineralien, wie Glimmer, schweben, wie schon auf S. 701-702 erwähnt, in einer Lösung oft viel länger, als sie nach ihrer Dichte sollten, und verunreinigen daher alle später als sie ausfallenden Portionen. Man entfernt sie entweder vor der Trennung oder nachher dadurch, daß man das Pulver über Papier viele Male hingleiten läßt, wobei die blättrigen Mineralien am Papier hängen bleiben, oder dadurch, daß man das Pulver aus einiger Höhe und in kleinen Portionen, wie Linck[1]) vorschlug, auf die schwach angehauchte Wandung eines Trichters fallen läßt. Die Glimmerblättchen haften an der Wandung, während die Körnchen der andern Mineralien in ein untergestelltes Gefäß abrollen.

Trotz dieser Mängel, die eigentlich nur bei übertriebenen Forderungen auftreten, haben die Trennungen durch schwere Lösungen vor andern Methoden ganz gewaltige Vorzüge, an denen auch die der Mineralogie weniger nahestehenden Mineralanalytiker nicht achtlos vorübergehen sollten. — Wie diese Trennungsmethoden bei geologischen und agronomischen Kartierungen Verwendung gefunden haben, ist aus den Arbeiten holländischer Mineralogen sowie A. Sauers zu ersehen[2]).

[1]) Inaug.-Dissert. Straßburg i. E. 1884. 41.

[2]) J. W. Retgers, N. J. 1895. I. 16—74; J. L. C. Schroeder van der Kolk N. J. 1895. I. 272—276; Z. D. G. G. 48. 1896. 773—807; ferner A. Sauer, Erläuterungen zu Blatt Schwetzingen-Altlußheim d. geol. Spezialk. d. Großh. Baden. 1896.

193. Trennung durch den Magneten. Alle Mineralien, die in einem Stahlmörser zerkleinert werden, sind vor der Trennungsanalyse durch schwere Lösungen von den kleinen, nur zu leicht hineingelangenden Eisenflitterchen zu befreien; es genügt hierzu ein schwacher Magnetstab. Zur Trennung stark magnetischer von weniger stark magnetischen Mineralien wählt man zunächst einen stärkeren stab- oder hufeisenförmigen Magneten. Solche Versuche wurden schon im 18. Jahrhundert und zu Anfang des 19. Jahrhunderts[1]) von H. B. de Saussure[2]), Fleuriau de Bellevue[3]) und P. L. A. Cordier[4]) angestellt. Weitere Fortschritte sind dem Ersatz des einfachen Magneten durch den Elektromagneten zu verdanken. Seine Einführung geschah durch M. Faraday[5]) und J. Plücker[6]), insbesondere auf unserem Gebiet aber durch A. Delesse[7]) und in teilweiser Wiederholung der ausgedehnten Delesseschen Untersuchungen durch F. Fouqué[8]). Ferner haben sich G. Untchj[9]), ein Schüler von L. Pebal[10]), alsdann aber eingehender C. Doelter[11]) und in der neueren Zeit, soweit mir die Literatur bekannt wurde, L. Vérain und Chevallier[12]) mit der magnetischen Trennung der Mineralien befaßt[13]).

Von welchen Faktoren die größere oder geringere Anziehbarkeit durch einen Elektromagneten abhängt, ist immer noch nicht mit Sicherheit festgestellt. Die Anziehung geschieht jedenfalls nicht proportional dem Eisengehalt, trotz der zuweilen auftauchenden gegenteiligen Behauptung, denn manche eisenreiche Mineralien (Biotit) werden weniger stark angezogen, als weit eisenärmere. So kann man auch oft die Anziehbarkeit eines Minerals durch Glühen erhöhen, wodurch ja der Eisengehalt nicht geändert, sondern nur in andere Form übergeführt wird. —

---

[1]) Eine historische Studie auf diesem Gebiet verdanken wir T. Crook, Science Progress, Nr. 5, Juli 1907. 21 Seiten.

[2]) Voyages dans les Alpes, Bd. I. 1779. 56; und an andern Stellen.

[3]) Journ. Phys. **51.** 1800. 448, 459. 460.

[4]) Journ. Mines, **21.** 1807. 249—260; **23.** 1808. 55—74.

[5]) Experimental Researches in Electricity, London 1855.

[6]) Pogg. Ann. **150.** 1848. 321—379.

[7]) Ann. Mines. **14.** 1848. 429—486; Auszug in Ann. Chim. Phys. **26.** 1849. 148—157.

[8]) C. R. **75.** 1872. 1089—1091; s. ferner Mém. Savants **22.** 1876. Nr. 11; Santorin et ses éruptions, Paris 1879. 194; ferner F. Fouqué und A. Michel-Lévy Minéralogie micrographic, Paris 1879. 115—116.

[9]) Naturw. Ver. f. Steiermark, 1872. 53.

[10]) L. Pebal, S. W. A. **85.** 1881. 147—148; **86.** 1883. 192—194.

[11]) S. W. A. **85.** 1881. 47—71; 442—449; Ref. N. J. 1882. II. 252; s. auch Doelter, Die Vulkane der Capverden. 1882. 72.

[12]) Bull. Inst. Océanogr. Nr. 255. 15. Januar 1913. 22 Seiten; s. auch C. R. **146.** 1908. 487.

[13]) Unter den neueren Arbeiten möge noch auf eine mir direkt nicht bekannt gewordene von Korda, La séparation électromagnetique et électrostatique des minerals, Paris 1905, erwähnt werden. Hier soll u. a. auf einen Forscher Brugman, Leyden, hingewiesen werden, der schon 1778 das magnetische Verhalten von eisen- und kobalthaltigen Mineralien erkannt habe.

Schon Plücker und Faraday stellten Versuche über die Anziehbarkeit im Vergleich zum Eisen an; Delesse hat diese Skala weiter ausgebaut, worin ihm später Doelter und Vérain-Chevallier folgten. Alle diese Versuche leisten nicht wenig, wenn sie sich auf eine qualitative Trennung der Mineralien beschränken, befinden sich aber noch durchaus im Anfangsstadium der Entwicklung, wenn sie eine quantitative Trennung zu erreichen oder gar eine Bestimmung des Eisengehalts nach Prozenten durch den Elektromagneten durchzuführen behaupten. Um ein Bild von dem Stadium unserer Kenntnis auf diesem Gebiet zu geben, seien einige Mineralreihen nach abnehmender Magnetisierbarkeit mitgeteilt.

Folgende Skala kann man etwa aus den vielen Delesseschen Untersuchungen bilden:

Magnetit, De Corte, Corsica
Titaneisen, Kaiserstuhl
Magnetkies, Fundort?
Eisenglanz, Vesuv
Eisenglanz, Elba
Franklinit, U. S. A.
Sphärosiderit, Steinheim
Olivin aus Pallasit, Krasnojarsk
Braunroter Granat, Markirch, Els.
Hypersthen, Labrador
Lievrit, Elba
Augit, Ätna
Piemontit, St. Marcel
Pleonast, Monzoni
Staurolith, St. Gotthard
Chromeisenstein, Miask
Epidot, Dauphiné
Hornblende, Vesuv
Eisenkies, Fundort?
Sahlit, Baikalsee
Fassait, Fassatal
Biotit, Vesuv
Vesuvian, Vesuv
Turmalin dunkel, Fundort?

Eine andere Reihenfolge stellte C. Doelter auf. Hier stehen diejenigen Mineralien, die in ihrer Anziehung wenig unterschieden sind, in einer Horizontalreihe:

Magnetit
Hämatit, Ilmenit
Chromit, Siderit, Almandin
Lievrit, Hedenbergit, Ankerit, Limonit
Augit mit 15—20 % Fe_2O_3, Pleonast, Arfvedsonit
Hornblende, lichte Augite, Epidot, Pyrop
Turmalin, Bronzit, Idokras
Staurolith, Aktinolith
Olivin, Pyrit, Kupferkies
Vivianit, Eisenvitriol
Fahlerz, Bornit, Zinkblende, Biotit, Chlorit, Rutil
Hauyn, Diopsid, Muskovit
Nephelin, Leucit, Dolomit.

Wieder eine andere Skala gaben Vérain und Chevallier:

Magnetit	Malakolith	Uwarowit
Hämatit	Axinit	Augit
Ilmenit	Chloritoid	Pleonast
Siderit	Staurolith	Smaragdit
Lievrit	Epidot	Diallag
Almandin	Glaukophan	Cordierit
Grossular	Hypersthen	Turmalin, grün
Melanit	gem. Hornblende	Tremolit
Spinell	Meroxen	Idokras
Chlorit	Pyrop	Diopsid
Glaukonit	Olivin	Enstatit
Hornblende, eisenreich	Amphibol	Asbest
Biotit	Turmalin, schwarz	Muskovit
Serpentin	Bronzit	Pyrit.
Chromit		

Der Mangel der Fundortsangaben in den beiden Skalen von Doelter und Vérain-Chevallier zeigt schon deren qualitativen Charakter. Es darf also nicht wundernehmen, wenn manche Mineralien an ganz verschiedenen Stellen in den Reihen dieser drei Autoren Platz gefunden haben. Bis jetzt kann man etwa der folgenden Reihe eine gewisse Geltung zuschreiben: Metallisches Eisen, Nickeleisen, Schreibersit, Cohenit, Magnetit, Magnetkies, Eisenglanz, Ilmenit, Chromit, Eisenspat, Lievrit. Von hier ab schon wird die Reihe sehr unsicher, und nur vermutungsweise kann man sagen, daß bei etwa gleichem Eisengehalt die Granate stärker angezogen werden, als die Pyroxene und Amphibole, und diese wieder stärker als die Glimmer und Chlorite. Auffallend bleibt vorläufig immer noch die geringe Anziehbarkeit des Pyrits. Man wird sich also in dem jetzigen Stadium auf das qualitative Trennen der Mineralien mit dem Magneten beschränken müssen, trotzdem aber oft viel größere Erfolge erzielen, als man nach jenen schwankenden Reihen erwarten sollte. Besonders in den Fällen, wo zwei Mineralien in der Dichte nahe beieinanderliegen und eine Trennung durch schwere Lösungen nicht mehr möglich machen, führt die Geschicklichkeit des Experimentators manchmal zu überraschenden Erfolgen. Man beginnt mit einfachen Stab- oder Hufeisenmagneten und geht dann über zum Elektromagneten in den verschiedensten Abstufungen seiner Feldstärke. Oft wendet man den Elektromagneten erfolgreich an, um einschlußreiche Individuen von einschlußfreien zu trennen, wenn das Mineral an sich eisenfrei ist. So gelingt es leicht, die einschlußreichen Leucite im Leucitit von Capo di Bove von andern zu isolieren und auf diese Weise ganz reines Material herzustellen. Auch die bräunlich getrübten Plagioklase der Gabbrogesteine lassen sich magnetisch von den farblosen recht vollkommen sondern.

Man hat früher das magnetische Moment des Elektromagneten durch Vermehrung oder Verminderung der Elemente der galvanischen Batterie zu ändern versucht, gelangt aber viel wirkungsvoller zum Ziel, wenn man nach dem Vorschlag von H. Rosenbusch[1]) einen hufeisenförmigen Elektromagneten mit beweglichen Polschuhen aus weichem Eisen versieht, wie dies Fig. 662 zeigt. Diese Pole wenden ihre keilförmigen Ansätze einander zu; die magnetische Wirkung wächst überaus rasch, je mehr man die Keile einander nähert und nimmt ebenso rasch ab, wenn man sie voneinander entfernt. Nachdem man sie in geeigneter Entfernung festgeschraubt hat, schaltet man den Strom ein und nähert das zu trennende Pulver, auf einem Papierstück ausgebreitet, den Schneiden der keilförmigen Ansätze oder läßt nach Bedürfnis diese Pole in das Pulver eintauchen. Ist genügend Material ausgezogen, so zieht man das Papier mit dem Pulver zurück und läßt die vom Magnet angezogenen Körner durch Öffnen des Stroms auf ein anderes Stück Papier fallen. In derselben Weise fährt man fort, bis bei diesem magnetischen Moment nichts mehr ausgezogen wird, und verstärkt nun die Kraft durch weitere Näherung der Polschuhe. Das rasch zu wiederholende Öffnen und Schließen des Stroms bewirkt man dadurch, daß man in den einen Schließungsdraht eine kleine Quecksilberwanne einschaltet, in die man mit der rechten Hand das eine Drahtende eintaucht und heraushebt, während man mit der linken Hand das Pulver den Polen nähert oder von ihnen entfernt. Zuweilen ist es bequem, beide Hände frei zu haben, wobei sich dann dieses Öffnen und Schließen mittelst einer federnden Einrichtung durch den Fuß ausführen läßt. Der Elektromagnet wird passend an einem festen, galgenförmigen Stativ, wie es nach H. Rosenbuschs Angaben von Mechaniker P. Stoë Nachfolger, Heidelberg, in einer Höhe von etwa 50 cm ausgeführt wird, aufgehängt. Die Stromerzeugung geschah früher durch ein kräftiges Chromsäure-Element, wird aber jetzt besser durch den Strom der elektrischen Zentralen nach Einschaltung passender Widerstände ersetzt.

Man hat Anstoß genommen an der Form und der Art der Anbringung der Rosenbuschschen Polschuhe, die infolge ihrer scharfen Ecken und rechtwinkligen Aufschraubung die Kräfte des Magneten zerstreuen und nicht an die Enden führen, wo sie eigentlich gebraucht werden. Dies brachte mich 1906, während meiner Tätigkeit an der Technischen Hochschule Danzig, auf den Gedanken, die Fachkenntnis meiner Kollegen zu einer verbesserten Konstruktion zu erbitten. Das auf diese Weise durch die Beihilfe des Herrn Dipl.-Ing. und Elektrotechnikers Ortwin Somborn konstruierte und von dem Mechaniker am Elektrotechnischen Institut der genannten Hochschule hergestellte Instrument ist in Fig. 663 abgebildet; es wird auch jetzt noch dort angefertigt und ist hier zum erstenmal beschrieben.

Von den wichtigen Polschuhen ist der linke zu verschieben, wie Fig. 663 erkennen läßt, kann aber außerdem auch noch herausgedreht

[1]) N. J. 1882. II. 252; ferner diese Physiogr. 2. Aufl. Bd. **1.** 1885. 222.

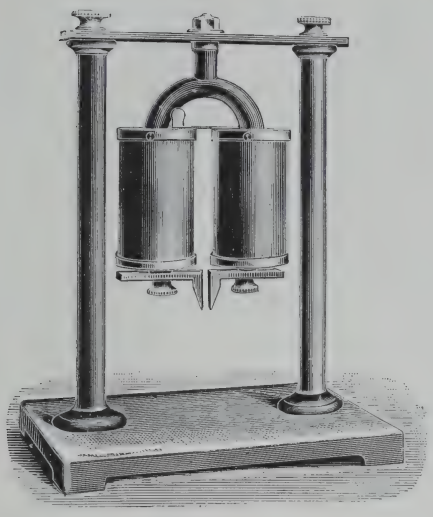


Fig. 662.
Elektromagnet nach H. Rosenbusch von P. Stoë, Heidelberg.

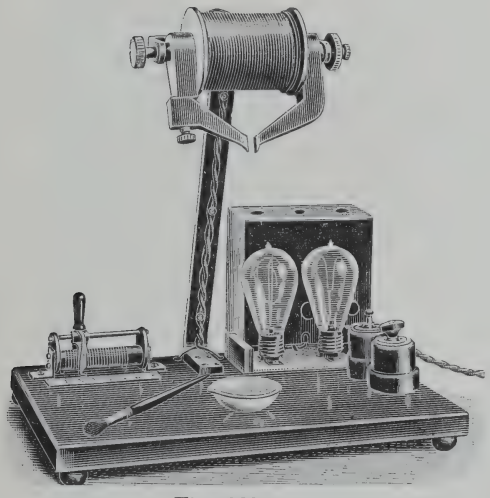


Fig. 663.
Elektromagnet nach Somborn und Wülfing, hergestellt 1906 im Elektrotechnischen Institut der Technischen Hochschule Danzig.

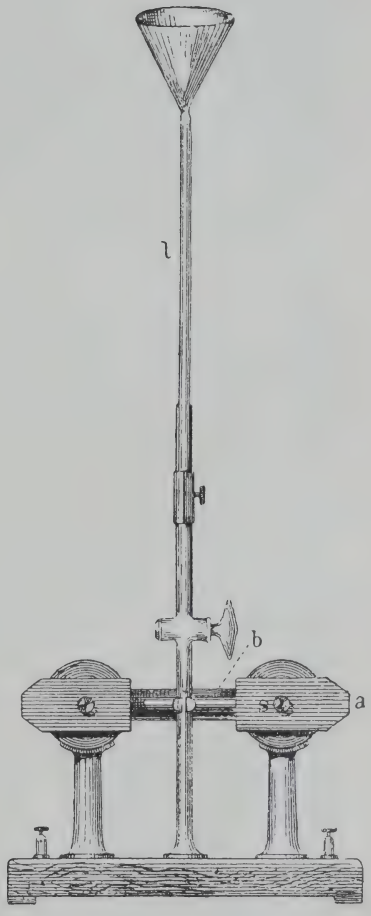


Fig. 664.
Apparat für elektromagnetische Trennung in Wasser nach P. Mann.

werden, wodurch sein Abstand von dem andern Pol so groß wird, daß der Magnet tatsächlich nur mit einem Pol arbeitet. Der Leitungsstrom geht zuerst durch zwei elektrische Lampen und dann noch durch einen kleinen Rheostaten. Die Lampen sind für gewöhnlich in einem kleinen

Gehäuse eingeschlossen, wie es in Fig. 663 nach hinten gestellt ist. Durch die Ausnützung des Rheostaten und die starke Änderung des Abstands der Pole, wird die Feldstärke außerordentlich variiert. Der Träger des Magneten besteht aus einem kräftigen Eisenstab, der so von dem Grundbrett aus in die Höhe steigt, daß er den Experimentator bei seinen Manipulationen nirgend hindert. Der ganze Elektromagnet hat mit dem Grundbrett eine Gesamthöhe von 44 cm. Die Pole des Magneten kann man nach unten richten, wie in Fig. 663, oder schräg oder horizontal stellen oder auch ganz nach oben drehen. Bei dieser letzten Lage streut man das Gemenge der Mineralien auf einen Papierbogen, der in einen Holzrahmen eingespannt ist, und bewegt das ganze über die Pole hinweg, wobei die magnetischen Körner über den Polen bleiben und abgeschieden werden können. Schon Heinrich Fischer in Freiburg i. Br. bediente sich vor 50 Jahren dieses Verfahrens, als er noch mit einem permanenten Magneten arbeitete. Die Ein- und Ausschaltung des Stroms geschieht durch den in Fig. 663 rechts sichtbaren Schalter. Ein Umkehrschalter, der durch Änderung der Pole die einmal angezogenen Körner von den Polen wieder abstoßen sollte, hat sich nicht bewährt; der zweite Schalter in Fig. 663 rechts trägt daher keine Handhabe mehr. Man muß auch hier, wie sonst üblich, die Körner, die nach Unterbrechung des Stroms nicht unmittelbar in eine Schale fallen, mit einem kleinen Pinsel abstreifen.

Andere Elektromagnete sind von L. Vérain und A. Chevallier (s. S. 719) konstruiert worden. Die Pole haben eigenartige Formen und bestehen einerseits aus einem stumpfen Kegel, andererseits aus einer Platte von 4 cm Durchmesser. Auch haben die Verfasser einen in eine feine Spitze auslaufenden stabförmigen Elektromagneten gebaut, mit dem sie unter dem Mikroskop einzelne magnetische Körner aus einem Haufen herausholen. Die Autoren haben eine bemerkenswert einfache Proportion zwischen dem Abstand der Pole und jener Stromstärke aufgestellt, die ein bestimmtes Mineral noch anzuziehen ermöglicht. Sie arbeiten im allgemeinen mit einer Korngröße, wie das auch sonst üblich ist, von etwa $^1/_5$ bis $^1/_{10}$ mm, behaupten aber ferner, daß die Korngröße von geringem Einfluß bei der Trennung sei. Weitere von den Autoren aufgestellten Gesetzmäßigkeiten zwischen Eisengehalt und Anziehung bedürfen noch der Bestätigung. Eine Skala von 43 Mineralien ist S. 721 bereits mitgeteilt.

Die von Rosenbusch bei unsern Trennungen zuerst angewandten verstellbaren Polschuhe hat T. Crook[1]) auch an einem permanenten Hufeisenmagneten angebracht. Er konnte damit stark magnetische Mineralien, wie Magnetit, Magnetkies, Eisenglanz, von schwächer magnetischen, wie Granat, Amphibol, Pyroxen, von noch schwächeren, wie Monazit trennen. Der draußen im Felde arbeitende Geologe wird sich eines so einfachen verbesserten Werkzeugs gerne bedienen und erst bei sorgfältigeren Trennungen im Laboratorium dem Elektromagneten den Vorzug geben.

[1]) Geol. Magaz. **5.** 1908. 560—561.

Während das auf S. 722 beschriebene Verfahren sich besonders dann empfiehlt, wenn es darauf ankommt, große Mengen anziehbarer Substanzen zu entfernen, um kleine Quantitäten nicht anziehbarer zurückzubehalten, wird man für den Fall, daß kleine Mengen anziehbarer Substanzen aus großen Mengen nicht magnetischer gewonnen werden sollen, nach dem Vorschlag von L. v. Pebal[1]) und P. Mann[2]) die Trennung in Wasser ausführen. Ersterer hält das Gesteinspulver in lebhaft bewegtem Wasser in Bechergläsern in Suspension und senkt das eine Ende eines stabförmigen Elektromagneten in diese Bechergläser. Letzterer fand es praktischer, die Pole eines horizontal gelagerten hufeisenförmigen Elektromagneten (Fig. 664) mit den messerschneidenartigen Enden in 0,5 mm Entfernung vertikal und parallel zu stellen und dann das in Wasser aufgeschlämmte Pulver aus einer Art Bürette mit trichterförmiger Erweiterung am oberen Ende und einem Hahn am unteren Ende der Röhre aus der Entfernung von wenigen Millimetern darüber wegfließen zu lassen.

Das Bürettenrohr ist 50 cm lang bei einem inneren Durchmesser von 6 mm, der sich gleich unterhalb des Trichters auf 4 mm verengt. Man arbeitet so, daß das Pulver in einem Becherglas im Wasser aufgerührt und dann bei geschlossenem Hahn auf einmal in den Trichter gegossen wird. Hierdurch wird die Luft in der Röhre *l* (Fig. 664) am Entweichen verhindert und bleibt, wenn nun der Hahn langsam geöffnet wird, in Form einer langgestreckten, fast das ganze Rohr füllenden Luftblase zurück, zwischen sich und der Rohrwand nur einen schmalen Durchgang für das Wasser und das Pulver lassend. Somit können sich die schweren Teile des Pulvers nicht rasch niedersetzen und die Hahndurchbohrung oder die Rohrmündung verstopfen. Infolge der Länge und Enge des Wegs und der daraus resultierenden großen Reibung, fließt das Pulver in gleichmäßiger Mengung mit dem Wasser in langsamem Strom an den Polen des Elektromagneten vorbei, wo nun die anziehbaren Teilchen haften bleiben. Nach vollendetem Versuch spritzt oder wischt man diese in ein Schälchen. In der beistehenden, dem Aufsatze von P. Mann entnommenen Fig. 664 sind *b* die messerschneidenähnlichen Enden der Pole des Elektromagneten, der von drei Messingsäulen getragen wird, von denen die dritte Säule zugleich als Träger für die Bürette dient. Man kann zu diesem Mannschen Verfahren auch den Somborn-Wülfingschen Elektromagneten der Fig. 663 verwenden, nachdem man ihm durch Drehung um die Achse der Spule die nötige horizontale Lage der Pole gegeben hat.

194. Trennung auf elektrostatischem Wege. Wie die Mineralien auf elektrostatischem Wege sich trennen lassen, ist bis jetzt erst vereinzelt

[1]) S. W. A. **85.** 1882. 147; **86.** 1882. 192—194.
[2]) N. J. 1884. II. 182—185.

versucht worden[1]). Es sei hier auf zwei Arbeiten von T. Crook verwiesen[2]), worin gezeigt wird, wie man Mineralien mit metallischem bis halbmetallischem Habitus von andern durch eine geriebene Siegellackstange trennen kann, wenn man das Gemisch auf eine Kupferplatte legt, von der die ersteren durch den Siegellack angezogen werden, wenn sie auch schwerer als die letzteren sind. So konnte Crook in einem bei der elektromagnetischen Behandlung übrig gebliebenen also nicht angezogenen Pulver von viel Zirkon und wenig Zinnstein den besser leitenden und daher elektrostatisch besser angezogenen Zinnstein konzentrieren. Umgekehrt ließ sich der elektrostatisch wenig angezogene Xenotim von Ilmenit und Wolframit trennen oder wenigstens anreichern, obgleich das ganze Pulver nur 1% Xenotim enthielt. Crook empfiehlt in einem solchen Fall, wo sehr viel Material angezogen werden muß, erst gegen Ende mit der Siegellackstange zu arbeiten und vorher zur Anziehung der großen Mengen von Ilmenit und Wolframit eine mit Schellack einseitig überzogene Kupferplatte anzuwenden. Die Schellackschicht wird den auf der andern nicht überzogenen Kupferplatte liegenden Körnern genähert und dann die obere Kupferplatte durch einen Elektrophor geladen.

195. Trennung auf chemischem Wege. Die chemischen Methoden, die zur Trennung der Gemengteile eines Gesteins dienen, sind so mannigfach und in den einzelnen Fällen so abwechselnd, daß sich ein allgemeines Schema für ihre Verwendung nicht geben läßt. Ein geübter Chemiker wird sie leicht selbst kombinieren, der Nichtgeübte würde sich ihrer kaum mit Erfolg bedienen können. — Abgesehen von der Abscheidung der Karbonate durch schwächere Säuren und der altbekannten Methode der Partial-Silikatanalyse, findet besonders die Flußsäure, zum Teil allein, zum Teil in Verbindung mit Salzsäure oder Schwefelsäure, nach dem Vorgang Fouqués[3]) eine weitreichende Verwendung. Bringt man in eine Platinschale reine konzentrierte Flußsäure und trägt dann allmählich das Pulver eines Gesteins ein, nicht zu schnell, um ein starkes Aufwallen zu vermeiden, aber schnell genug, um eine ausreichende Temperaturerhöhung zu bewirken, so werden die Gemengteile des Gesteins in einer bestimmten Reihenfolge angegriffen, zuerst die glasigen Basisteile, dann die Feldspäte und verwandte Mineralien, darauf der Quarz, zuletzt die magnesia- und eisenreichen Vertreter wie Pyroxene, Amphibole, Olivine usw. Unterbricht man dann den Vorgang im geeigneten Zeitpunkt dadurch, daß man rasch Wasser reichlich zuströmen läßt, so gelingt es bei einiger Übung in überraschender Weise, bestimmte Mineralien zu zerstören, andere unangegriffen zu behalten. Man kann auf diese Weise die Mikrolithe

[1]) In dem oben S. 719 Fußnote 13 angegebenen Werk von Korda dürften nach dem Titel manche Angaben zu finden sein.

[2]) Min. Mag. **15.** 1909. 260—264; **16.** 1911. 109—111. Ref. Z. X. **48.** 1911. 678; **53.** 1914. 589.

[3]) C. R. **75.** 1872. 1090; C. R. **79.** 1874. 869–872.

der Gläser, die Feldspäte der porphyrischen Grundmassen, die älteren basischeren Gemengteile in oft vollkommen erhaltener Kristallform isolieren. Während der Einwirkung der Flußsäure rührt man mit einem Platinspatel um und fährt damit fort während des Wasserzusatzes, um die Gelatineklümpchen zu zerteilen und so ihre Fortspülung durch das Wasser zu erleichtern. Sobald man es ohne Gefahr kann, bedient man sich des Fingers und reibt mit diesem das unangegriffene Kristallpulver gegen die Wand der Schale, um die Gelatinehaut fortzuspülen. Zuletzt gießt man das Wasser vollkommen ab, glüht das Kristallpulver vorsichtig und verwandelt dadurch die noch anhaftende Kieselgallerte in pulverige Kieselsäure, die nun leicht gänzlich abgewaschen werden kann. Bei richtiger Behandlung behalten zumal die Kriställchen der Magnesia- und Eisensilikate spiegelnde Flächen.

Wie man sich eines Gemenges von Flußsäure und Salz- oder Schwefelsäure zur Isolierung des Rutils aus Schiefern bedienen kann, haben A. Sauer[1]), A. Cossa[2]) und A. Cathrein[3]) gezeigt. Die gleiche Methode läßt auch Zirkon, Turmalin, Spinell, Andalusit, Disthen usw. von andern Silikaten trennen. — E. Cohen[4]) benutzt bei solchen Isolierungen, um größere Mengen des Gesteinspulvers unter den günstigsten Bedingungen behandeln zu können, einen Bleitopf, der mit dem Deckel 10 cm hoch ist, einen Durchmesser von 16 cm im Lichten und 5 mm Wanddicke hat. Darin können auf drei treppenartig vorspringenden Gestellen von Blei vier flache Schüsseln von demselben Metall mit zunehmendem Durchmesser eingesetzt werden, deren kleinste und zu unterst stehende etwa 9 cm, deren oberste etwa 14 cm Durchmesser hat. Auf dem Boden dieser Schüsseln wird das mit Wasser und Salzsäure oder Schwefelsäure angefeuchtete Gesteinspulver ausgebreitet. Die untere Hälfte des Bleitopfes bleibt frei zur Aufnahme der zur Entwicklung der Flußsäure nötigen Menge von Flußspat und Schwefelsäure. Der Topfdeckel greift mit einem Falz über den Topfrand und kann so gearbeitet werden, daß ein Kittverschluß unnötig ist. Das zu dem ganzen Apparat verwendete Blei muß stark gehämmert werden, um widerstandsfähiger gegen Flußsäure zu sein. Die Reaktion verläuft rascher, wenn man den beschickten Topf an einen warmen Ort stellt. Eine kleine Bleidose zum Aufschluß mit Flußsäure bei mikrochemischen Reaktionen wird weiter unten in Paragraph 204 näher beschrieben werden.

J. Lemberg[5]) verwandelt durch konzentrierte Natronlauge Feldspäte und ähnliche Mineralien in zeolithartige Verbindungen, die durch Salzsäure in Lösung gebracht werden können; er benutzte mit Erfolg

[1]) N. J. 1879. 571; 1880. I. 280; 1881. I. 228.
[2]) N. J. 1880. I. 163.
[3]) N. J. 1881. I. 172.
[4]) Mitt. Naturw. Ver. Neuvorpommern usw. **20.** 1888. 3 S.
[5]) Z. D. G. G. **35.** 1883. 560.

diese Methode zur Isolation des Augits in Phonolithen. E. Kayser[1]) brachte auf die gleiche Weise Mineralien wie Quarz, Korund, Anatas, Rutil, Zirkon und andere zur Abscheidung. E. A. Wülfing[2]) ermittelte die Mineralnatur des bunten Mergels der Keuperformation dadurch, daß er die Trennung mit Salzsäure teils an dem ursprünglichen, teils an dem vorher auf 500° erhitzten Pulver ausführte.

196. Trennung durch Aussuchen. Wenn alle Trennungsmethoden, sowohl Schlämmanalysen, als auch Trennungen durch schwere Flüssigkeiten, sowie magnetische, elektrostatische und chemische Methoden versagen, so ist man schließlich genötigt, die einzelnen Körnchen aus einem Gemenge auszulesen. Man kann sich dann wohl eines dickeren Glasstreifens bedienen, in den man longitudinal eine Rinne eingeschliffen hat, oder auf dem man diese Rinne dadurch herstellt, daß man zwei keilförmig zugeschliffene Glasstreifen mit den einander zugewandten Schneiden nach unten aufklebt. Das Pulver wird in diese Rinne so eingetragen, daß die Körnchen nicht zu nahe liegen. Man schiebt die Glasplatte unter dem Mikroskop langsam vorbei und hebt, sobald eines der gesuchten Körnchen gesehen wird, dieses mit einem dünnen Wachsfaden oder einem Streichhölzchen heraus, dessen fein zugespitztes Ende man ein wenig befeuchtet hat. Taucht man dieses Hölzchen mit dem anhaftenden Korn in ein Uhrglas mit Wasser, so fällt das Korn ohne weiteres zu Boden. Thoulet[3]) aspiriert die Körnchen durch ein Glasröhrchen, das mit einem System von zwei, Spritzflaschen ähnlich gebauten, untereinander durch Glasröhren und Kautschukschläuche verbundenen Gläschen beweglich befestigt ist. Man saugt die Luft aus dem zweiten Gefäß, während die Spitze das Körnchen berührt, sodaß dies in das erste Gefäß fallen muß. Sehr zweckmäßig scheint auch bei diesem mühsamen Prozeß des Aussuchens die am Schluß des Paragraphen 97 S. 318 erwähnte Streuvorrichtung an der Lupe von E. Weinschenk zu sein, bei der man das Mineralpulver auf einer großen Glasscheibe ausbreitet. Bei dem Aussuchen dunkler Teile wählt man als Unterlage eine Milchglastafel, bei hellen Mineralien ein schwarzes Glas.

C. Doelter benutzte gelegentlich auch die verschiedene Schmelzbarkeit der Körnchen eines Gemenges, um sie zu trennen[4]). Die Körner werden dabei auf einem Platinblech ausgebreitet, und dieses wird vor der Gebläselampe geglüht, bis die leichter schmelzbaren festbacken, sodaß man die schwer schmelzbaren abschütteln kann. Die Körner müssen möglichst genau gleiche Dimensionen haben.

---

[1]) Z. X. **33.** 1900. 200—201.
[2]) Jahresh. Ver. vaterl. Naturk. Württ. **56.** 1900. 23.
[3]) Bull. Soc. Min. Fr. **3.** 1880. 100—101.
[4]) Die Vulkane der Capverden. 1882. 69.

Fünfter Teil.

Chemische Methoden.

Erste Abteilung.

Chemische Untersuchungen am Dünnschliff.

197. Allgemeines. Die chemische Untersuchung der Mineralkomponenten eines Gesteins hat nicht nur die Bedeutung, eine auf optischem Wege gewonnene Diagnose zu bestätigen, sie wird vielmehr in zahlreichen Fällen notwendig, um innerhalb einer Familie die vorliegende Art zu bestimmen oder ganz an die Stelle der im einzelnen Falle — bei undurchsichtigen oder regulären Mineralien — unzulänglichen optischen Bestimmungen zu treten. In der Natur der mikroskopischen Untersuchung liegt es, daß die bei der Mineralanalyse gebräuchlichen chemischen Methoden sehr oft nicht verwendbar sind. Die geringen Mengen, mit denen man zu arbeiten genötigt ist, erfordern eine ungewöhnliche Schärfe der Reaktionen; die Unmöglichkeit der Unterscheidung farbloser und amorpher Niederschläge bedingt die Benutzung nur solcher Reaktionen, bei denen charakteristische deutliche Färbungen oder leicht erkennbare Kristallisationen auftreten. Im allgemeinen werden diejenigen Methoden den Vorzug verdienen, bei denen Kristallisationen erzielt werden, die von den Mengenverhältnissen der zur Wechselwirkung gelangenden Substanzen und von den physikalischen Verhältnissen möglichst unabhängig sind, unter denen der Versuch stattfindet.

Man kann die chemischen Prüfungen entweder an dem aus dem Gestein auf mechanischem Wege isolierten Mineralpulver, oder auch am Dünnschliff selbst vornehmen. Vorzuziehen ist immer das erstere Verfahren, weil hier nie Unsicherheit darüber entstehen kann, welcher von den Gemengteilen die beobachtete Reaktion zeigte. Zuweilen ist man indessen gezwungen, unmittelbar am Dünnschliff zu operieren, wobei im großen und ganzen die gleichen Reaktionen wie bei isolierten Körnchen Anwendung finden. B. Granigg[1]) bohrt bei seinen metallographischen Untersuchungen kleine Proben aus der metallischen Oberfläche unter dem Mikroskop heraus und führt an dem Pulver die Mikroreaktionen aus.

Die im folgenden angegebenen Reaktionen lassen sich wohl ausnahmslos mit leicht zu beschaffenden Hilfsmitteln und unter Benutzung der gewöhnlichen Polarisations-Mikroskope ausführen. Ausgezeichnet geeignet für solche Untersuchungen sind auch die von O. Lehmann u. a. konstruierten Erhitzungsmikroskope, die in Paragraph 107 beschrieben und abgebildet sind. Hier sei noch aus historischem Interesse auf ein

[1]) „Metall und Erz". **12.** 1915. 189; **13.** 1916. 169; **17.** 1920. 57.

von J. Thoulet[1]) angegebenes Microscope à distance hingewiesen und ferner ein moderner, sehr sorgfältig durchkonstruierter Gasheizkondensor nach O. Lehmann von Zeiss in Jena erwähnt, der mit dem Kristallisationsmikroskop dieser Firma verbunden wird.

Das sonstige Instrumentarium ist, abgesehen von den Trennungsapparaten (s. §§ 188—191), sehr einfach und kann meistens selbst angefertigt oder zusammengestellt werden; es gleicht in vielen Fällen dem für Lötrohrreaktionen gebräuchlichen. Große Sorgfalt ist auf die Reinheit der Reagentien zu verwenden und überhaupt eine peinliche Sauberkeit erforderlich. Die Reaktionen werden in den meisten Fällen auf Objektträgern ausgeführt, die man bei Anwendung von Flußsäure oder Kieselflußsäure mit Kanadabalsam oder einem reinen Firnis überzieht, oder die man auch nach H. Behrens[2]) durch dünne, von Dr. Muencke in Berlin zu beziehende Plättchen von nahezu farblosem Zelluloid ersetzen kann. Sie sind schon wegen ihrer Dauerhaftigkeit dem gefirnißten Glas vorzuziehen und lassen sich auch leicht mittelst zwei auf 100° erwärmten Uhrgläsern in gewölbte Form bringen. Von Säuren werden sie bei gewöhnlicher Temperatur nicht angegriffen.

Zur Entnahme der Reagenzproben aus den Standfläschchen kann man sich nach H. Behrens des Platindrahthäkchens bedienen; rasch aus der Flüssigkeit gezogen erhält man ein größeres, langsam herausbewegt ein kleineres Tröpfchen.

Die Verdunstung einer Lösung, in der man Kristallisationen hervorrufen will, läßt sich in bekannter Weise unter dem Exsikkator beschleunigen, oder man verwendet, wenn diese Verdunstung besonders rasch verlaufen soll, den von Schroeder van der Kolk angegebenen Mikroexsikkator[3]). Er besteht nur aus einem sehr dicken Objektträger mit eingeschliffener Vertiefung, in die man einen kleinen Tropfen konzentrierter Schwefelsäure bringt, und über die man das Deckgläschen legt, an dessen Unterseite die einzuengende Flüssigkeit hängt. Auch läßt sich das Lösungsmittel, ebenfalls nach Schroeder van der Kolk, manchmal sehr bequem verdunsten durch eine mittelst des elektrischen Stroms glühend gemachte Platinschlinge. Der Erhitzung des ganzen Tropfens ist diese Methode entschieden vorzuziehen, weil man das Maß der Verdunstung genauer regulieren kann; auch erhitzt sich hierbei nicht die ganze Flüssigkeit, und man ist immer sicher, die Kristallisation in kalter Lösung herbeizuführen.

Wird bei den Untersuchungen eine Filtration nötig, so paßt man diese Operation den kleinen Flüssigkeitsmengen an. Der erste dahinzielende

---

[1]) Contributions à l'étude des propriétés physiques et chimiques des minéraux microscopiques. Thèses. Paris. 1880. pg. 64—66.

[2]) Anleitung zur mikrochem. Analyse. Hamburg-Leipzig 1895. Anm. S. 17.

[3]) Z. f. phys. Chem. **11.** 1893. 1671; s. auch J. L. C. Schroeder v. d. Kolk. Kurze Anleitung zur mikroskop. Kristallbestimmung. Wiesbaden 1898. S. 6.

Vorschlag wurde 1871 von H. Rosenbusch gemacht[1]). Er konstruierte nach dem Prinzip des Bunsenschen Filtrierapparats mit Saugvorrichtung einen kleinen Apparat, bei dem man nur mit 20 Tropfen Flüssigkeit mit einem Glastrichter, einem winzigen Platintrichterchen und mit einem gewöhnlichen Papierfilterchen arbeitete. Später ist dieser Apparat von F. Emich und J. Donau mannigfach verbessert worden[2]), indem man nun kreisrunde Papierscheibchen von 6—8 mm Durchmesser auf eine „Filtrierkapillare" legte und so den Niederschlag sammelte.

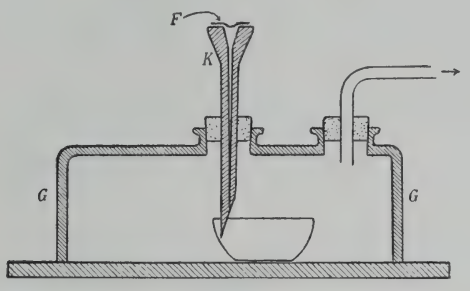


Fig. 665.
Apparat zur Mikrofiltration nach Emich und Donau.

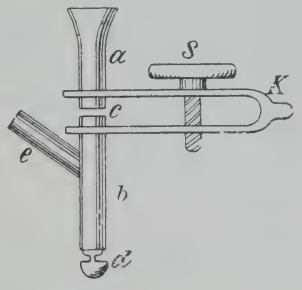


Fig. 666.
Apparat zur Mikrofiltration nach Haushofer.

Eine solche Kapillare (*K* in Fig. 665) hat ein Lumen von 1 mm und ist im Glaskörper oben verdickt und eben geschliffen. Sie sitzt in einer Glocke *G* zur Erzeugung des Unterdrucks. Bei dem Filtrieren von wässerigen Lösungen wird der Rand des Filterscheibchens *F* eingefettet, indem man dieses mit dem Finger gegen das Ende einer etwas erwärmten mit wenig Vaselin bestrichenen Glasröhre drückt; dadurch wird der Rand zugleich etwas aufgebogen. Die angegebenen Dimensionen erlauben Niederschläge von nur 1 μg (0,001 mg) zu sammeln. Man kann sich bei kleinen Flüssigkeitsmengen auch trockener oder feuchter Streifen und Röllchen von Filtrierpapier bedienen, wie dies A. Streng eingehend beschrieben hat[3]), oder man benutzt nach H. Behrens[4]) eine kleine Zentrifuge. Bei etwas reichlicherer Flüssigkeit läßt sich der von K. Haushofer[5]) konstruierte, in Fig. 666 abgebildete Apparat verwenden. Er besteht aus den beiden kurzen, höchstens 4 mm lichte Weite und etwa 1 bis 1,5 mm Wanddicke besitzenden Glasröhrchen *a* und *b*, die an den einander zugekehrten Enden senkrecht abgeschliffen sind. Eine horizontale Klemme *K* hält sie senkrecht so übereinander, daß die abgeschliffenen Enden sich eben be-

[1]) N. J. 1871. 916—917.

[2]) F. Emich und J. Donau. S. W. A. **118.** IIb. 1909. 513—525; J. Donau, ebenda **119.** IIb. 1910. 1101—1110 und **120.** IIb. 1911. 897—921; s. auch F. Emich, Lehrb. d. Mikrochemie. Wiesbaden. 1911. 52 ff.

[3]) N. J. 1886. I. 49—50.

[4]) Anleitung usw. S. 20—21.

[5]) S. M. A. 1885. 225.

rühren. *a* ist oben trichterförmig erweitert, *b* unten durch einen Pfropfen oder eingeschliffenen Glasstöpsel *d* geschlossen. Seitlich an *b* sitzt das Röhrchen *e*, über das ein Gummischlauch gezogen wird, um *b* „luftleer" saugen zu können. Zwischen die abgeschliffenen Enden der Glasröhrchen bei *c* wird ein angefeuchtetes Scheibchen von Filtrierpapier gebracht, das etwa 1 mm über die Röhrchen übersteht und durch Anziehen der federnden Klammer *S* festgepreßt wird. Die zu filtrierende Flüssigkeit wird in *a* eingegossen, und *b* durch *e* vorsichtig „luftleer" gesogen. Durch Nachgießen von Wasser in *a* kann man auswaschen. Der Niederschlag sammelt sich als kreisförmige Lage auf dem Papierblättchen und kann abgenommen, das Filtrat bei *d* abgelassen werden.

198. Herrichtung der Dünnschliffe zu chemischen Untersuchungen. Präparate, die man von vornherein zu chemischen Untersuchungen bestimmt, wird man unbedeckt lassen und auch deren Oberfläche nicht polieren, weil so die Angriffsfläche größer, also der chemische Eingriff energischer ist. Soll nicht das ganze Präparat, sondern nur ein Teil geprüft werden, so trennt man diesen durch einen ringförmig aufgetragenen Faden zähflüssigen Kanadabalsams ab, über den hinaus der mit einer Kapillarpipette zugeführte Tropfen des Reagenzes sich nicht ausbreiten kann. Wird ein schon bedecktes Präparat zur chemischen Untersuchung verwendet, so erweicht man durch Erwärmung den Kanadabalsam, entfernt das Deckglas und wäscht den Kanadabalsam mit einem in Spiritus oder Äther getauchten Pinsel ab. Ist nur ein Teil des Dünnschliffs zur Prüfung bestimmt, so schneidet man die diesen Teil bedeckende Fläche des Deckgläschens mit einem Schreib- oder Schneidediamant vorsichtig an, hebt nach Erwärmung mit einer Nadel den losgeschnittenen Teil des Gläschens ab und entfernt den Kanadabalsam in derselben Weise. — Ist das zu untersuchende Teilchen im Präparat sehr klein und soll das Reagens dennoch nur dieses Teilchen angreifen, so verfährt man in folgender Weise. Das Deckgläschen wird wie angegeben gänzlich vom Schliff abgehoben, die bedeckende Schicht von Kanadabalsam aber nicht entfernt. Alsdann durchstößt man unter dem Mikroskop mit einer feinen Präpariernadel die dünne Kanadabalsamschicht an der Stelle, wo das Reagens einwirken soll. A. Streng[1]) empfiehlt ein anderes Verfahren, wonach über die vom Deckgläschen befreite, aber noch mit dem Kanadabalsam bedeckte Schicht ein neues, mit einer feinen trichterförmigen Durchbohrung versehenes Deckgläschen gelegt wird. Dieses verschiebt man unter dem Mikroskop so lange, bis die feine Öffnung genau über dem zu untersuchenden Teile des Präparats liegt. Nun erwärmt man das Präparat leicht bis zum beginnenden Schmelzen des Kanadabalsams, drückt das Deckgläschen fest und entfernt in der Öffnung den Kanadabalsam mit einem in Äther oder Spiritus getauchten Pinsel. Das Reagens wird alsdann in die Öffnung eingeführt und kann nun keinen andern Teil des Präparats

[1]) N. J. 1885. I. 26—28.

angreifen, als die kleine entblößte Stelle. Die zu dieser Operation notwendigen durchlochten Deckgläschen erhält man dadurch, daß man gewöhnliche Deckgläschen mit Wachs überzieht, an der gewünschten Stelle das Wachs in einem 0,5—1 mm Durchmesser haltenden Kreis wegkratzt und auf die freie Stelle Flußsäure so lange einwirken läßt, bis diese das Gläschen durchgefressen hat. Man tut gut, derartige Gläschen in größerer Anzahl vorrätig zu halten. Sollen Säuren zur Verwendnng kommen, die das Glas angreifen, so wird statt des durchbohrten Deckgläschens ein durchbohrtes dünnes Platinblech benutzt. Beabsichtigt man, auf einen Dünnschliff heiße Salzsäure oder Schwefelsäure einwirken zu lassen, so muß er vollständig vom Glas abgelöst und der Kanadabalsam beiderseitig durch vorsichtiges Erwärmen in Äther und Alkohol gänzlich entfernt werden. In derselben Weise verfährt man, wenn ein Dünnschliff geglüht werden soll (s. § 203); das Glühen erfolgt am sichersten auf einem Platinblech oder in einem Platintiegel.

199. Prüfung der Dünnschliffe auf Löslichkeit. Zu den leicht löslichen, in Gesteinen verbreiteten Mineralien gehören die Karbonate, die Phosphate und manche Eisenerze. Bei der Auflösung der Karbonate, von denen Calcit schon in Essigsäure, andere in kalter, wieder andere erst in heißer Salzsäure löslich sind, tritt ein Aufbrausen durch die gasförmig entweichende Kohlensäure ein, die bei nicht zu geringer Menge der Karbonate der Beobachtung auch ohne Mikroskop nicht entgeht. Sind jedoch die Partikel von Karbonaten sehr klein und nur vereinzelt in dem Präparat enthalten, dann kann die Entwicklung der Kohlensäure leicht übersehen werden. In solchen Fällen tut man gut, das Präparat mit etwas Wasser und einem Deckgläschen zu bedecken, und die zur Einwirkung bestimmte Säure in einem Tropfen auf den freien Teil des Objektglases zu bringen, sodaß langsame Diffusion mit dem Wasser über dem Schliff stattfindet. Schon bei schwachen Vergrößerungen beobachtet man dann die Bildung der Kohlensäurebläschen im Gesichtsfeld an allen Stellen, wo Karbonate liegen. Muß der Schliff während der Operation erwärmt werden, so legt man ihn nicht direkt auf den Objekttisch, sondern in Ermanglung eines Erhitzungsmikroskops (s. § 107) auf eine durchbohrte Kupferplatte, deren Durchbohrung über dem Diaphragma des Objekttisches liegt, und der die nötige Wärme durch Erhitzung zweier langzungenförmiger Fortsätze vermittelst Spiritusflammen oder Gasbrenner zugeführt wird. Die Basen, an welche die Kohlensäure gebunden war, finden sich in der Lösung, die den Schliff bedeckt. Hebt man diese mit engen Kapillarpipetten ab und bringt sie auf ein reines Objektglas, so kann man die Basen nach den gewöhnlichen Methoden der anorganischen Analyse oder durch die in Paragraph 205 angegebenen Reaktionen leicht nachweisen. Solche Kapillarröhrchen, die R. Bunsen mit seinen Flammenreaktionen in die analytische Chemie einführte und die man durch Ausziehen einer dünnen Glasröhre in größerer

Menge auf Vorrat herstellt, wirft man stets nach einmaligem Gebrauche fort, da eine vollkommene Reinigung sich gegenüber ihrem minimalen Wert nicht lohnt.

Eine Gasentwicklung kann auch bei der Auflösung mancher Sulfide eintreten; das sich bildende Gas ist alsdann Schwefelwasserstoff. Hat die Entwicklung unter dem Deckgläschen stattgefunden, so läßt sich dieses Gas durch die Färbung eines mit Bleiwasser befeuchteten Streifens Filtrierpapier nachweisen, den man in die den Schliff bedeckende Lösung taucht.

Ohne Gasentwicklung lösen sich in Mineralsäuren (man wendet vorwiegend Salzsäure an) die meisten Phosphate und die oxydischen Eisenerze und Manganerze, solange man bei letzteren keine Erwärmung vornimmt. — Von den Phosphaten kommt in erster Linie der in den Gesteinen allgemein verbreitete Apatit in Betracht. War Apatit in dem Präparat vorhanden, so weist man die Phosphorsäure durch einen Zusatz von molybdänsaurem Ammoniak nach (s. § 205 S. 757).

Von den oxydischen Eisenerzen löst sich wohl der Limonit am leichtesten, demnächst der Magnetit, schwerer schon der Eisenglanz und äußerst schwer der Ilmenit in Salzsäure; unlöslich oder doch nahezu unlöslich ist das Chromeisenerz. Die Lösung aller vollzieht sich im Dünnschliff wegen der geringeren Angriffsoberfläche langsamer als im Pulver. Man wird sich daher der Behandlung eines Dünnschliffs mit Salzsäure vielfach bedienen können, um die Eisenerze zu unterscheiden. Besonders bei den so verbreiteten gesetzmäßigen Verwachsungen von Ilmenit mit Magnetit, wie sie im zweiten Teil dieses Buches bei Titaneisenglimmer beschrieben werden, kann man letzteren durch Salzsäure bequem entfernen und ersteren freilegen. Noch häufiger wird es nötig, die Eisenerze durch Säure zu entfernen, um Mineralien oder Strukturverhältnisse wahrnehmen zu können, die von ihnen verdeckt werden. Zumal bei porphyrischen Gesteinen, Tonschiefern und Phylliten, stellt sich diese Notwendigkeit oft ein. — J. Lemberg[1]) verwandte eine siedende Cyankalium-Lösung, um Kupferglanz, Buntkupfererz, Silberglanz und Fahlerz nach ihrer Löslichkeit zu unterscheiden.

200. Prüfung der Dünnschliffe auf Gelatination. Farbreaktionen. Außer der Prüfung auf reine Löslichkeit behandelt man die Dünnschliffe häufig mit Säuren zum Nachweis gelatinierender Silikate. Das Verfahren regelt sich dabei nach dem Zweck, den man verfolgt. Handelt es sich nur darum, die Gegenwart solcher Silikate, wie etwa aus der Familie des Olivins, des Nephelins, der Zeolithe, der basischeren Feldspäte, des Chlorits oder Serpentins darzutun, so bedeckt man das sauber gereinigte Präparat mit einer dünnen Haut der zur Verwendung kommenden Säure; man verteilt einen Tropfen hiervon mit dem Finger oder einem Glasstab flach über das Präparat. Ist die Flüssigkeitsschicht

[1]) Z. D. G. G. **46.** 1894. 488—491.

über dem Päparat zu dick, so breitet sich die entstehende Gelatine über das ganze Präparat aus und verleiht auch nicht gelatinierten Teilen das Aussehen, als seien sie angegriffen. Hat die Säure, gelegentlich unter Erwärmung, hinreichend eingewirkt, so entfernt man sie durch Abspülen des Präparats in Wasser, wenn nötig unter Zusatz eines Tröpfchens Ammoniak, um den letzten Rest der Säure zu neutralisieren. Die Einwirkung soll möglichst nur so lange dauern, bis sich eine ganz dünne Schicht Gelatine über den angegriffenen Substanzen gebildet hat, durch die hindurch man noch die Polarisationserscheinungen des Minerals wahrnehmen kann; man wiederholt also besser einen Versuch mehrere Male, als daß man sofort zu kräftig einwirken läßt. Um die durchsichtige Gelatine nun zur Wahrnehmung zu bringen, bedeckt man das Präparat mit einem Tropfen Wasser, dem eine verdünnte wässrige Fuchsinlösung zugesetzt wurde. Man läßt diese nicht allzu intensiv gefärbte Lösung längere Zeit über dem Präparat stehen, wodurch die Gelatinehaut mit dem Pigment sich tränkt. Spült man nun wieder den Schliff mit Wasser gut ab, so verschwindet die Färbung an allen Stellen, außer an denjenigen, wo eine Gelatination eingetreten war. Überzeugt man sich, daß die Säure nicht hinreichend eingewirkt hatte, so zerstört man das Fuchsin auf dem Präparat durch einen Tropfen Säure und wiederholt den Versuch. — Man kann sich auch jedes andern Färbemittels, das von der Gelatine absorbiert wird, bedienen; wie denn auch zahlreiche andere Farblösungen (Methylgrün, Methylenblau, Baumwollblau, Safranin, Rhodamin, Eosin usw.) vorgeschlagen worden sind. Die moderne Färbetechnik der Biologen hat gezeigt, daß die Kieselsäuregelatination sich durch basische Farbstoffe besonders gut färbt (s. auch Schluß dieses Paragraphen).

In manchen Fällen empfiehlt es sich, den mit Säure behandelten und zum Teil gelatinierten Schliff mit der Lösung eines Eisensalzes zu bedecken und, nachdem diese hinreichend in die Gelatine eingedrungen ist, alsdann ein Reagens (Ferrocyankalium oder Ammoniak), aufzutragen, durch das eine Färbung oder Fällung in der imbibierten Salzlösung erzeugt wird. Zumal für Dauerpräparate ist dieses Verfahren vorzuziehen.

Will man zugleich die Basen nachweisen, die in den gelatinierten Substanzen vorhanden waren, so läßt man die Säuren länger und kräftiger einwirken, hebt dann die Lösung mit Kapillarpipetten ab, dampft sie auf einem Objektglas ein, um die gelöste Kieselsäure unlöslich zu machen, löst wieder in etwaig angesäuertem Wasser und prüft nach den in Paragraph 205 mitgeteilten Methoden. Das Präparat, das geätzt wurde, kann alsdann nach Entfernung der Lösung für Farbreaktionen in der beschriebenen Weise weiter behandelt werden.

Kommt es endlich darauf an, die gelatinierten Substanzen einfach zu entfernen (bei zeolithischer Zersetzung von Feldspatgesteinen, chloritischer und serpentinöser Umwandlung von Pyroxenen und Amphibolen usw.), so zerstört man sie tunlichst vollständig und spült zweckmäßiger-

weise mit einem kräftigen Wasserstrahl das Präparat ab, um die oft hartnäckig anhaftende Kieselgallerte fortzuwaschen. Man wird dadurch oft Mineralien bloßlegen, deren Anwesenheit bei Betrachtung des nicht geätzten Schliffs kaum vermutet wurde.

F. Becke[1]) bediente sich der Flußsäure, um Quarz und Feldspat in dichtem Gemenge von sehr feinem Korn zu unterscheiden. Nach einer Einwirkung von wenigen Sekunden hat sich auf dem Feldspat eine Haut von amorphem Aluminiumkieselfluorid gebildet, während Quarz einfach gelöst wird. Die Säure wird vorsichtig abgespült und das Präparat in ein Färbebad von Anilinblau, sog. Baumwollblau, gelegt. Hat sich die Imbibition vollzogen, so spült man besser nicht mit Wasser ab, sondern legt das Präparat kurze Zeit in mit etwas Wasser verdünnten Alkohol, um das Pigment von den nicht gelatinierten Stellen des Schliffs zu entfernen. Daß auch die sauren und basischen Feldspäte durch Ätzung mit wässeriger Flußsäure und darauffolgender Tinktion zu unterscheiden sind, lehrten Becke[2]) und Pelikan[3]). Becke empfiehlt zur Herstellung von Dauerpräparaten, die ätzende Säure durch Fließpapier vom Rande her ohne Berührung des Schliffs möglichst zu entfernen und den Rest durch Daraufblasen auf dem Wasserbade rasch zu verdampfen. Alsdann bedeckt man das Präparat bis über seine Ränder mit der Farblösung, saugt diese mit einer Pipette nach 5—10 Minuten langer Einwirkung ab und reinigt durch vorsichtiges Auftropfen von Wasser. Die Farbhaut wird durch absoluten Alkohol entwässert, dann einige Minuten in Benzol gelegt, darauf mit einem Tropfen Lavendelöl benetzt und schließlich mit in Äther gelöstem Kanadabalsam bedeckt. Diese Methode verhütet das Abblättern der Farbschicht. Auch drei Gemengteile, wie Quarz, Orthoklas und Plagioklas, lassen sich bei vorsichtiger Anwendung dieser Methode voneinander unterscheiden und in ihrer Verteilung im Gestein studieren, wie man aus der Tafel des Granitits von Konopischt, Böhmen, im Berwerthschen Werk „Mikroskopische Strukturbilder der Massengesteine", Stuttgart 1900, ersehen kann. Der Plagioklas erscheint tief blau gefärbt, der Orthoklas hat fast unmerklich Farbe aufgenommen, seine Kanten sind aber durch die Säure gerundet und seine Risse und Spalten vertieft worden, der Quarz ist vollkommen farblos geblieben.

Mit Flußsäure bilden alle Alumosilikate gelatinöses Aluminiumkieselfluorid, wodurch man diese von tonerdefreien Silikaten unterscheidet; doch ist nicht zu vergessen, daß auch Calciumkieselfluorid bisweilen amorph ist.

A. Sauer[4]) unterschied die kalkreichen und kalkarmen oder kalkfreien Glieder der Sodalithgruppe durch das Vorhandensein reichlicher

[1]) T. M. P. M. **10.** 1888. 90 und briefl. Mitteil. vom 18. April 1889 an H. Rosenbusch.

[2]) T. M. P. M. **12.** 1892. 257.

[3]) Ibidem **12.** 1892. 158.

[4]) Zeitschr. f. d. ges. Naturw. Halle. **13.** 1876. 322.

oder spärlicher Gipsnadeln oder durch ihr Fehlen in der nach Behandlung mit Salzsäure auf der Oberfläche dieser Mineralien erzeugten Gallerte, nachdem diese eingetrocknet war. — F. Graeff[1]) unterscheidet Sodalith und Analcim in Eläolithsyenit leicht mittelst sehr verdünnter chlorfreier Salpetersäure oder Essigsäure, wodurch beide Mineralien nach kürzester Zeit gelatinieren. Fügt man nun einen Tropfen verdünnten Bleinitrats oder Bleiacetats hinzu, so bedeckt sich die Oberfläche des Sodaliths mit den stark doppelbrechenden flachen Nadeln des Chlorbleies, während diese auf dem Analcim nicht entstehen. — Solche und ähnliche Versuche sind noch mannigfach zu variieren und zu vermehren. So läßt J. Lemberg[2]) eine Lösung, die 4 % Salpetersäure und 2 % Silbernitrat enthält, einwirken, um z. B. auf einem Sodalithkorn einen Niederschlag von Chlorsilber zu erhalten, der als solcher erkannt oder auch durch Pyrogallol zu Silber reduziert werden kann. Salpetersäurereichere Lösungen sind nicht zu empfehlen, weil dann die Bildung von Chlorsilber zu rasch erfolgt und der Überzug nicht gut haftet. Silbernitrat muß immer reichlich vorhanden sein, damit die Lösung in unmittelbarer Berührung mit Sodalith nie frei von Silber wird, weil sonst die freigewordene Salzsäure nicht mehr auf der Oberfläche des Sodalithkorns gefällt wird. Bei chlorhaltigen Silikaten, die wie die sauren Skapolithe durch Salpetersäure nicht zersetzt werden, setzt Lemberg der sauren Silbernitratlösung 6 % Flußsäure zu[3]).

H. Behrens zeigte die Färbung von Chlorit und Glimmer durch Safraninlösung ohne vorherige Ätzung[4]). R. Sokol dehnte diese Beobachtung bei Verwendung von Methylenblau auf Sericit und Kaolin aus[5]) und erzeugte auf diese Weise an Muskovit und Sericit einen sehr kräftigen Pleochroismus. Er empfiehlt, diese Färbung ohne Ätzung der Beckeschen mit Ätzung (s. S. 736) vorausgehen zu lassen, um so die mikroskopischen Ausbildungsformen des Talks, Glimmers und Chlorits von denen der Feldspäte zu unterscheiden. St. J. Thugutt färbt Opal durch eine Lösung von Methylenblau und unterscheidet ihn dadurch von Analcim, der unverändert bleibt[6]).

Mit diesen Färbungen ohne vorangegangene Ätzung gelangt man in ein Gebiet, das besonders durch die Arbeiten von W. Suida[7]) und F. Hundeshagen[8]) aufgedeckt wurde. Wenn man hier den Ausführungen

[1]) N. J. 1887. II. 230.
[2]) Z. D. G. G. **42.** 1890. 738.
[3]) Z. D. G. G. **44.** 1892. 224.
[4]) Anleitung zur mikrochem. Analyse. 1895. 164.
[5]) Zentralbl. f. Min. usw. 1911. 278.
[6]) Zentralbl. f. Min. usw. 1911. 762.
[7]) S. W. A. **113.** IIb. 1904. 725—761; T. M. P. M. **23.** 1904. 534—535; Ref. Z. X. **42.** 1907. 496—497.
[8]) Zeitschr. f. angew. Chemie. **21.** 1908. 2485—2554; N. J. B. B. **28.** 1909. 335—378; Ref. Z. X. **51.** 1913. 533—536.

des letzteren folgt, so muß man zunächst die Frage, ob es sich bei solchen Färbungen um rein chemische oder rein physikalische Vorgänge handelt, noch als unentschieden betrachten oder bei vielen annehmen, daß man es mit einem komplexen Phänomen, also chemischer und physikalischer Art, zu tun hat. In Anlehnung an die Bezeichnung der Histologen werden die Mineralien, je nachdem sie eine Färbeverwandtschaft zu sauren oder basischen oder beiden Arten von Farbstoffen zeigen, als acidophil (oxyphil), basophil oder amphophil bezeichnet. Pseudochromatisch gebundene Farbstoffe werden schon durch reines Wasser ausgelaugt. Am intensivsten werden die Körper in gelatinösem oder amorphem oder krypto- bis mikrokristallinem, feinschuppigem oder feinfasrigem Zustand gefärbt. So ist gelatinöse Kieselsäure ausgesprochen chromatophil und zwar basophil, ähnlich Opal, während Quarz, Tridymit und Chalcedon indifferent sind. Basophil sind die Oxyde und Hydrate der Erdalkalien. Kristallisierte Zeolithe sind indifferent, während amorphe oder kryptokristalline oder entwässerte Zeolithe chromatophil werden. So zeigt mäßig geglühter Heulandit, Laumontit, Desmin schwache Basophilie, Analcim, Chabasit, Comptonit, Phillipsit, Harmotom ausgesprochene und Natrolith, Apophyllit starke Basophilie.

201. Niederschlagsreaktionen an Dünnschliffen. Als Beispiele, wie man die Dünnschliffoberfläche zu Niederschlagsreaktionen benutzen kann, mögen die folgenden dienen. Die Calciumkarbonate, besonders Calcit, schlagen aus Eisenchloridlösungen, mit denen man den Schliff bedeckt, rasch Eisenoxyd nieder, das nach Zufügung von Schwefelammon den Calcit je nach der Dicke der Haut von einfach Schwefeleisen grün bis schwarz färbt. Dolomit, der viel langsamer von Säuren angegriffen wird, zeigt nach J. Lemberg[1]) bei gleicher Behandlung diese Färbung nicht oder viel weniger intensiv und erst nach längerer Behandlung[2]). Derselbe Forscher benutzte die Fähigkeit des Calcits, aus kalten Lösungen von Aluminiumsalzen die Tonerde rasch und vollständig zu fällen, zur Unterscheidung von Dolomit, der viel langsamer reagiert. Fügt man der Aluminiumsalzlösung einen Farbstoff hinzu, so verbindet sich dieser mit der gefällten Tonerde zu einem sog. Lack. Benutzt man die von Lemberg empfohlene Lösung von vier Teilen trockenem $AlCl_3$ in 60 Teilen Wasser, die man mit sechs Teilen Blauholz *(Haematoxylon campechianum)* 25 Minuten unter Ersatz des beim Kochen verdampfenden Wassers heiß umgerührt hat, zum Befeuchten des Schliffs, so färbt sich

[1]) Z. D. G. G. **39.** 1887. 489; **40.** 1888. 357.

[2]) s. auch F. Hinden, Verh. Naturf. Ges. Basel. **15.** 1903. Heft 2. Ref. N. J. 1905. I. 23; ferner St. J. Thugutt, Zentralbl. f. Min. usw. 1905. 265—266. — F. Hinden schlug auch eine 10prozentige Kupfersulfatlösung zur Unterscheidung von Calcit und Dolomit vor. Calcit erzeugt hierbei eine blaue Färbung von basischem Kupferkarbonat; Dolomit reagiert nicht. S. hierzu auch O. Mahler, Über das chemische Verhalten von Dolomit und Kalkspat. Dissert. Freiburg i. Br. 1906. 56 S.

der Calcit violett. — Über eine Niederschlagsreaktion zur Unterscheidung von Calcit und Dolomit s. auch S. 752 bei den Einzelreaktionen auf Magnesia.

Auch andere Arbeiten Lembergs beschäftigen sich mit Niederschlagsreaktionen[1]). So wird die Bildung von Silberkarbonat durch Einwirkung von Höllensteinlösung auf feinverteilten Calcit und Umwandlung mittelst K_2CrO_4 in Silberchromat als empfindlich hervorgehoben. Kiese, Glanze und Blenden untersuchte Lemberg unter Anwendung einer alkalischen Bromlösung und einer mit Schwefelsäure angesäuerten Silbersulfatlösung[2]).

202. Ätzfiguren. Die Untersuchung der chemischen Kohäsion, die vermittelst der Ätzfiguren Richtungen des größten und kleinsten Widerstandes gegen den Eingriff von Lösungsmitteln in den molekularen Bau kennen lehrt, hat nach F. Leydolts Vorgang[3]) in den Händen von Baumhauer, Tschermak, Klein, Becke u. a. sich als ein bewundernswertes Mittel zur Erforschung verwickelter Kristallisationsverhältnisse erwiesen und manche Symmetrieverhältnisse bei komplizierten Kristallisationen aufgedeckt. Ebenso bedient man sich ihrer mit Erfolg bei den Untersuchungen über die Orientierung der optischen Vektoren in den Mineralien der Glimmer-, Sprödglimmer- und Chloritreihe, wenn diesen die äußere Begrenzung fehlt. An den isolierten Kristallen der Pyroxene und Amphibole, die oft prismatisch gut ausgebildet sind, aber keine Endflächen tragen und die daher vorne und hinten nicht unterscheiden lassen, kann man durch Ätzfiguren eine richtige Aufstellung herbeizuführen[4]). — In gewissen Fällen endlich geben die Ätzversuche Anhaltspunkte bei der Bestimmung sonst oft schwer zu unterscheidender Substanzen, wie z. B. Quarz und Cordierit, wenn Schnitte vorliegen, die keine sichere optische Bestimmung gestatten.

Einer ausgiebigen Verwendung dieser Ätzmethoden bei den Untersuchungen der Dünnschliffe steht die Abhängigkeit der Form der Ätzfiguren von der Lage der geätzten Fläche und die unsichere Bestimmung der Flächenlage entgegen. Auch bilden sich scharfe Figuren nur auf Kristall- und Spaltflächen, während auf angeschliffenen Flächen nur bei sehr guter Politur einigermaßen genaue und deutliche Formen entstehen. Es hängt dies wohl damit zusammen, daß auch die best polierte Fläche in strukturellem Sinne noch als rauh zu bezeichnen ist und gegenüber einer glatten Spalt- und Kristallfläche leichter und überhaupt anders angegriffen wird.

---

[1]) Z. D. G. G. **42.** 1890. 737—752; **44.** 1892. 224—237. 823—824.

[2]) Z. D. G. G. **46.** 1894. 788—799.

[3]) Sitz.-Ber. Wien. Akad. **15.** 1855. 59—85.

[4]) Vergl. V. Ussing, Z. X. **15.** 1889. 601; G. Greims, N. J. 1889 I. 252; E. A. Wülfing, Beiträge zur Kenntnis der Pyroxenfamilie. Habilitationsschrift Tübingen 1891, gedruckt Heidelberg 1891. 4—6.

Man erhält die Ätzfiguren, je nach der zur Untersuchung vorliegenden Substanz, durch Anwendung von Essigsäure, Salzsäure, Schwefelsäure, Flußsäure, Kieselflußsäure und ihrer Gemenge, oder durch kaustische Alkalien, die man je nach Umständen bei gewöhnlicher Temperatur oder in erhitztem, auch geschmolzenem Zustand einwirken läßt. In manchen Fällen ist es nötig, die Präparate vom Objektglas loszulösen und dann beiderseits vom Kanadabalsam zu reinigen. Nach Einwirkung des Reagenzes wird die geätzte Substanz vollkommen von den durch die Reaktion entstandenen Verbindungen durch reichliches Waschen in Wasser oder Säuren befreit und das Präparat in ein Medium von möglichst abweichender Lichtbrechung gebettet. Man wählt also Wasser einerseits und α-Bromnaphtalin oder Jodmethylen usw. andererseits, je nachdem der Index des geätzten Minerals hoch oder niedrig ist. Auch wird man darauf achten, den vom Kondensor kommenden Beleuchtungskegel durch Irisblende oder Senkung stark einzuengen, um die Ätzfiguren deutlich zu sehen. Bisweilen kann es zweckmäßig sein, wenn man eine mit Ätzfiguren bedeckte Oberfläche, wie dies Knop[1]) bei der Untersuchung des Xanthophyllits der Schischimskischen Berge und ihrer sog. Diamanteinschlüsse tat, mit staubförmigem schwarzem Kupferoxyd auf Fließpapier einreibt und dann wieder auf reinem Fließpapier durch Reiben von den an der Oberfläche haftenden Teilchen des Pigments befreit, sodaß die Stäubchen nur in den Vertiefungen der Ätzfiguren bleiben und diese dadurch besser sichtbar machen.

Die Formen der Ätzfiguren können auf einer und derselben Fläche desselben Minerals verschieden sein, je nach der Natur, Einwirkungsdauer und Konzentration des Ätzmittels; nur der Grad ihrer Symmetrie ist unabhängig von dessen Art und Anwendung.

203. Das Glühen von Dünnschliffen dient zum Nachweis wasserhaltiger Mineralien, kohliger Substanzen oder zur Erzeugung von Färbungen, die für bestimmte Verbindungen charakteristisch sind.

Die meisten wasserhaltigen Mineralien, wie Zeolithe und Chlorite, werden im Dünnschliff durch starkes Glühen trübe. Farblose wasserhaltige Mineralien werden einfach trübe, farbige pflegen zugleich ihre Farben zu ändern; die chloritischen Substanzen werden bei hinreichendem Glühen rostbraun bis schwarz[2]). — Daß auch andere flüchtige Bestandteile einer Verbindung durch Glühen ausgeschieden werden und dadurch das Aussehen der Substanz verändern, zeigte E. Cohen[3]) bei der Unterscheidung von Cancrinit und Nephelin, von denen der erstere beim Glühen gleichmäßig getrübt wird, wohl durch Verlust der Kohlensäure, während frischer Nephelin beim Glühen unverändert bleibt.

---

[1]) N. J. 1872. 785—794.

[2]) C. W. Gümbel, Die paläolithischen Eruptivgesteine des Fichtelgebirges. München 1874. 2.

[3]) N. J. 1883. II. 371.

Ebenso wie durch feine Verteilung von Eisenerzen, werden die Dünnschliffe auch durch fein verteilte kohlige Partikel undurchsichtig. Man entfernt diese und unterscheidet sie dadurch zugleich von den Eisenerzen, daß man die Dünnschliffe glüht. Da nun diese kohligen Substanzen sehr oft mit Eisenerzen mechanisch gemengt sind, so tut man gut, die Präparate vor dem Glühen mit Salzsäure zu behandeln und wenn nötig diese Operation nach dem Glühen zu wiederholen, da oft erst dann Erzteilchen freigelegt werden, die vorher durch Einhüllung in Kohlesubstanz vor dem Angriff durch die Säure geschützt waren. Fein verteilten Pyrit kann man nicht durch Salzsäure, wohl aber durch Salpetersäure wegätzen. Die Verbrennbarkeit kohliger Substanzen ist eine recht verschiedene. Daß sich Graphit in manchen Fällen auch durch anhaltendes starkes Glühen anscheinend nicht entfernen läßt, kann durch Verunreinigungen bedingt sein. Reiner Graphit verbrennt nach A. Osann[1]) schon in dunkler Rotglut über dem Bunsenbrenner.

Farblose eisenoxydulhaltige Silikate lassen sich durch Glühen rot bis rotbraun färben; C. W. C. Fuchs[2]) beobachtete diese Eigenschaft wohl zuerst am Olivin. Pyroxene und Amphibole geben, zumal wenn sie vorher farblos oder schwach gefärbt waren, die gleiche Reaktion. Der Olivin wird dabei bisweilen, der Amphibol wohl immer und oft außerordentlich stark pleochroitisch. Bei letzterem sind die Farben und der Pleochroismus dieselben, die man an dem Amphibol von Gesteinseinschlüssen in Laven und vulkanischen Auswürflingen wahrnimmt. Fuchs erklärte bereits die rote Farbe mancher natürlicher Olivine auf ähnliche Weise. Die Erscheinung dürfte auf einer äußerst feinen Verteilung des aus der Verbindung ausgetretenen Eisenoxyds beruhen. — Manche Turmaline werden nach A. Osann (l. c. S. 377) durch Glühen braunrot und verlieren ihren Pleochroismus. Letztere Erscheinung findet wohl auch bei Cordierit statt.

Daß die Mineralien der Hauynreihe durch Glühen blau gefärbt werden können, wenn sie diese Farbe vorher nicht besaßen, zeigte H. Vogelsang[3]). A. Knop[4]) erhielt dieselbe Reaktion, wenn er Dünnschliffe mit Mineralien dieser Reihe in einem geschlossenen Platintiegel glühte, auf dessen Boden eine Messerspitze voll Schwefelblumen gestreut war, sodaß die Schliffe sich also im Schwefeldampf befanden.

Farblose tonerdehaltige Mineralien färben sich blau, wenn man das Präparat auf einem Platinblech mit stark verdünnter Kobaltsolution befeuchtet, sehr stark glüht (man bedeckt das Blech mit einem Platindeckel, um die Temperatur zu erhöhen) und dann mit verdünnter Salzsäure digeriert. Die Reaktion, die zumal zur Unterscheidung des Sericits von ähnlich aussehenden Substanzen wie Talk wichtig ist, tritt oft erst nach mehrmaligem Glühen ein.

[1]) Mitt. Gr. Bad. geol. Landesanst. 1893. II. 376.
[2]) N. J. 1869. 577—578.
[3]) Über die natürlichen Ultramarinverbindungen. Bonn 1874. 33.
[4]) N. J. 1875. 74—76.

J. Lemberg[1]) zeigte, daß man in einem Gemenge von Karbonaten und Brucit den letzteren Gemengteil leicht und sicher dadurch nachweisen kann, daß man das bis zum Wasserverlust des Brucits erwärmte Präparat in eine Lösung von Silbernitrat taucht. Der Brucit färbt sich alsdann durch ausgefälltes Silberoxyd braun bis fast schwarz, während die Karbonate unverändert bleiben.

In einem Gemenge von Calcit und verschiedenen Zeolithen weist St. J. Thugutt den Calcit durch kurzes Glühen und Behandeln mit $^1/_{10}$ n wässeriger Kobaltnitratlösung nach, indem er nach Entfernung des Überschusses von Kobaltnitrat die Lembergsche Reaktion mit $^1/_{10}$ n Höllensteinlösung und mit Kaliumchromat ausführt[2]). Die Zeolithe haben schon nach 2 Minuten ihre Basen durch Silber ersetzt, das dann in rotes Silberchromat umgewandelt wird, während ein auf dem Calcit entstandenes basisches Kobaltsalz das Silbersalz reduziert und graue bis schwarze Färbung hervorruft.

Zweite Abteilung.

Die mikrochemischen Reaktionen.

204. Allgemeines. Wie sich die chemische Untersuchung auf zweckmäßige Weise mit der mikroskopischen verbinden läßt, hatte P. Harting schon seit 1848 in seinem Werk „Het Mikroskop“ angegeben, wo im zweiten Band S. 168 ff. der deutschen Ausgabe von 1866 vorzügliche Abbildungen von Kieselfluornatrium, Gips, phosphorsaurer Ammoniakmagnesia usw. zu finden sind. Auf diese in weiteren Kreisen in Vergessenheit geratenen Untersuchungen hatte der verstorbene Schroeder van der Kolk seinerzeit die Güte, den Verfasser aufmerksam zu machen. 1871 paßte H. Rosenbusch die Methode der qualitativen Analyse der mikroskopischen Untersuchung an, worauf 1877 Em. Bořicky die chemischen Methoden in sehr allgemein anwendbarer Form und mit überraschend schönem Erfolg in die mikroskopische Mineralbestimmung einführte, und H. Behrens, A. Streng, K. Haushofer und viele andere diese zu einer eigenen Methode der Kristallanalyse erweiterten und vervollständigten. Die Anzahl der bei mikroskopischen Untersuchungen verwendbaren Reaktionen ist sehr groß und die Literatur über diesen Gegenstand so zerstreut, daß es nicht angeht, immer die betreffenden Autoren bei den einzelnen Reaktionen im Text aufzuführen. Es mögen daher die wichtigsten und umfassenderen Arbeiten über mikrochemische Untersuchungen hier vorangestellt werden, deren unvollständige Aufzählung sich durch die Zeitverhältnisse erklärt.

---

[1]) Z. D. G. G. 1872. 226—227.

[2]) Sitzber. Warschauer Ges. Wiss. 1911. 38—41. Ref. Z. X. **54.** 1915. 197.

1848/66. P. Harting, Het Mikroskop. 1848—50 und Fortsetzung 1858. Deutsche Originalausgabe. 2. Aufl. Braunschweig 1866. Bd. **2.** 142—216.

1867. G. Rose, Über Darstellung kristallisierter Körper mittelst des Lötrohres, und über Darstellung der Titansäure in ihren verschiedenen allotropischen Zuständen. Monatsber. B. A. 1867. 129—147, 450—464.

1871. H. Rosenbusch, Briefl. Mitteilung. N. J. 1871. 914—918.

1877. E. Bořicky, Elemente einer neuen chemisch-mikroskopischen Mineral- und Gesteinsanalyse. Arch. d. naturw. Landesdurchforschung v. Böhmen. **3.** Prag 1877. 80 S.

1880. K. Haushofer, Über die mikroskopischen Formen einiger bei der Analyse vorkommenden Verbindungen. Z. X. **4.** 1880. 42—56.

1882. H. Behrens, Mikrochemische Methoden zur Mineralanalyse. Akad. Versl. en Meded. **17.** Amsterdam 1882. 27—73.

1883/85. K. Haushofer, Mehrere Aufsätze in S. M. A. 1883. 436 bis 448; 1884. 590—604; 1885. 206—226, 403—414.

1885. K. Haushofer, Mikroskopische Reaktionen. Braunschweig 1885. 162 S.

1885/1913. A. Streng, Über einige mikroskopisch-chemische Reaktionen. N. J. 1885. I. 21—42; 1886. I. 49—61; 1888. II. 142—150. S. a. Fuchs-Streng-Brauns, Anleitung zum Bestimmen der Mineralien. 4. Aufl. 1898. 69—108; 5. Aufl. 1907. 220 S.; 6. Aufl. 1913. 223 S.

1886. C. Klement und A. Renard, Réactions microchimiques. Bruxelles 1886.

1887/1908. W. Behrens, Tabellen zum Gebrauch bei mikroskopischen Arbeiten. 4. verbesserte Aufl. herausgegeben von E. Küster. Leipzig 1908. 245 S.

1891. H. Behrens, Reaktionen für mikrochemische Mineralanalysen. N. J. B. B. **7.** 1891. 435—470.

1892. K. Haushofer, Leitfaden für die Mineralbestimmung. Braunschweig 1892. Besonders S. 24—58.

1892. L. Bourgeois, Analyse microchimique. Extrait du Dictionnaire de Chimie de M. Wurtz. 2e Supplément publié sous la direction de M. Friedel. Paris 1892. 14 S.

1894. C. A. Mc. Mahon, Notes on the micro-chemical analysis of rock-making minerals. Min. Mag. **10.** 1894. 79—122. Ref. Z. X. **25.** 1896. 292—294.

1895/1900. H. Behrens, Anleitung zur mikrochemischen Analyse. Hamburg-Leipzig. 1895. 224 S. (2. Aufl. 1900).

1898. J. L. C. Schroeder van der Kolk, Kurze Anleitung zur mikroskopischen Kristallbestimmung. Wiesbaden 1898. 58 S.

1900/08. H. Behrens, Mikrochemische Technik. Hamburg-Leipzig 1900. 68 S.; 4. Aufl. 1908.

1906. F. Emich, Über die Anwendung von Gespinnstfasern in der mikrochemischen Analyse anorganischer Stoffe. Festschrift Adolf Lieben, 1906. 651—663.

1907. N. Schoorl, Beiträge zur mikrochemischen Analyse. Zeitschr. f. analyt. Chemie. **46.** 1907. 658—671; **47.** 209—234, 367 bis 389, 729—754; **48.** 209—231, 401—415, 593—611, 665 bis 678.

1910. F. Emich, Über Mikrochemie, mit besonderer Berücksichtigung der Arbeiten von H. Behrens, Ber. D. Chem. Ges. **43.** 1910. 10—45, mit zahlreichen Literaturangaben; s. auch Verh. Ges. D. Naturf. u. Ärzte. Leipzig 1910. 136—146 und Chemikerzeitung 1911. 637—650.

1911. F. Emich, Lehrbuch der Mikrochemie. Wiesbaden 1911. 212 S.

1912. Handwörterbuch der Naturwissenschaften. Jena. Bd. II. 366 bis 373; Bearbeitung des Artikels „Mikroskopische Analyse" von F. Emich.

1913. L. Duparc und A. Monnier, Traité de téchnique minéralogique et pétrographique. II 1. Les méthodes chimiques qualitatives. 372 S.

1915/21. Behrens-Kley, Mikrochemische Analyse von P. D. C. Kley. Zugleich 3. Auflage der Anleitung zur mikrochemischen Analyse von H. Behrens. Mit einem Atlas: Tabellen zur systematischen Bestimmung der Mineralien. Leipzig-Hamburg 1915. 368 und 136 S. Unveränderter Neudruck 1921.

Die Auflösung geschieht bei den Nicht-Silikaten nach bekannten Methoden, bei den Silikaten zum Teil nach E. Bořicky mit Kieselflußsäure H_2SiF_6. Statt der unbequemen und schwer rein zu erhaltenden Kieselflußsäure kann man bei Silikaten mit rascherem und im übrigen gleichem Erfolg reine Flußsäure anwenden. Hierzu hat H. V. Graber eine kleine Bleidose konstruiert[1]), die in Fig. 667 in wirklicher Größe abgebildet ist. Hier steht auf einem Dreifuß *D* von Blei ein Platinschüsselchen von halbkugeliger Form und 1 cm^3 Inhalt. Die Aufschließung geschieht auf einfache Weise durch Beschickung der kleinen Bleidose mit roher rauchender Flußsäure, die überall erhältlich ist. Der Vorteil ihrer Verwendung gegenüber dem Flußspat-Schwefelsäure-Gemisch liegt teils in der größeren Sauberkeit, teils in dem Umstand, daß bei Anwendung von Schwefelsäure die Dose als Exsikkator wirkt und einen im Platinschälchen befindlichen Wassertropfen absorbiert. — Das Bořicky'sche Verfahren wird im einzelnen in folgender Weise ausgeführt. Auf eine der auf S. 730 erwähnten von Kieselflußsäure usw. nicht angreifbaren

[1]) Zentralbl. f. Min. usw. 1905. 247—248.

Unterlagen bringt man ein oder mehrere etwa 1 cbmm große Stückchen der Substanz. Diese Körnchen bedeckt man mit einem etwa erbsengroßen Tropfen der Säure, deren Auseinanderfließen allenfalls dadurch vermieden werden kann, daß man einen Balsamring herumlegt. Die Kanadabalsamhaut bei den überzogenen Objektträgern darf nicht rissig sein, damit das Reagens nicht auf das Objektglas wirken kann.

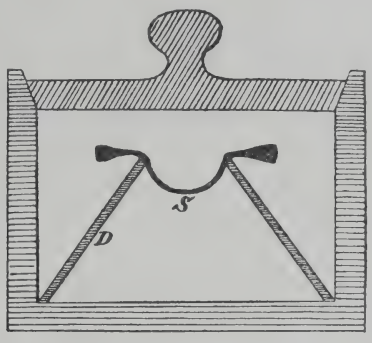


Fig. 667.
Bleidose zum Aufschließen nach H. V. Graber.

Die Kieselflußsäure muß absolut rein sein; sie darf bei Verflüchtigung keinen Rest hinterlassen. Man stellt sie entweder selbst dar, indem man das aus einer Mischung von Flußspat, Schwefelsäure und Quarzpulver in einer Bleiretorte entwickelte Fluorsilicium in eine mit Wasser gefüllte Platinschale leitet, oder die käufliche Kieselflußsäure durch Destillation reinigt. Sie wird am besten in einer Platinflasche aufbewahrt und tropfenweise mittelst eines ösenförmig gekrümmten Platindrahtes angewendet. Die zur Untersuchung bestimmte Mineralprobe muß möglichst vollständig von der Säure aufgelöst werden; andernfalls würden die beim Eintrocknen sich bildenden Kristallisationen in ihren relativen Mengen ein mehr oder weniger falsches Bild von der Zusammensetzung der untersuchten Probe geben. Man kann die spontan nur sehr langsame Verdunstung der Lösung beschleunigen und den Angriff des Reagenzes auf die Probe unterstützen, wenn man das Objektglas über (nicht etwa auf) eine ganz gelinde angewärmte Eisenplatte legt oder das oben S. 730 angegebene Verfahren mit der Heizschlinge anwendet oder ein sog. Strengsches Wasserbad benutzt. Dasselbe besteht aus einer kleinen Porzellanschale mit kochendem Wasser, die man mit einem Uhrglas bedeckt, auf das man wieder ein kleines umgekehrtes Pappschächtelchen legt. Soll die Flüssigkeit auf dem Objektträger schnell erwärmt werden, so legt man diesen Objektträger direkt auf das Uhrglas, andernfalls auf das Pappschächtelchen.

Beim Eintrocknen der Lösung entstehen charakteristische Kristallisationen der in der untersuchten Probe vorhandenen ein- und zweiwertigen

Metalle in der Form von Kieselfluoriden. Die Kieselfluorverbindung des Aluminiums ist gelatinös. Ist die Kristallisation etwa wegen zu raschen Eindampfens unvollkommen ausgefallen, so löst man entweder in Wasser oder in einem stark verdünnten Tropfen von Kieselflußsäure, überträgt auf ein reines Objektglas und läßt von neuem kristallisieren. War die Probe nicht vollständig gelöst, so behandelt man sie wiederholt mit einem neuen Tropfen Kieselflußsäure. Manche Silikate, zumal Glimmer, lassen sich selbst mit recht konzentrierter Kieselflußsäure nicht vollkommen aufschließen; man zersetzt dieselben dann zunächst in einem kleinen halbkugelförmigen Platinlöffel von etwa 1 cm Durchmesser mit Flußsäure, dampft hierauf unter Zusatz überschüssiger Kieselflußsäure zur Trockne ein, nimmt mit etwas destilliertem Wasser auf und läßt die Lösung auf einem Objektträger verdunsten. Dagegen genügt zur Unterscheidung von Sericit und Talk nach O. Hackl[1]) einfaches Kochen mit konzentrierter Salzsäure, um genügend Material in Lösung zu bringen und die Prüfung auf *K, Al, Mg* vorzunehmen.

Beabsichtigt man nicht, durch Darstellung der Kieselfluoride die in der Probe enthaltenen Metalle zu bestimmen, sondern die von Behrens und anderen vorgeschlagenen Kristallisationen zur Diagnose zu benutzen, so zersetzt man 0,5—1 mg des fein zerstoßenen Pulvers, wie oben angegeben, mit reiner Flußsäure (die man im Handel einwandfrei erhalten kann) und etwas Schwefelsäure. Man dampft auf dem Wasserbad unter Umrühren mit einem Platindraht zur Trockne ein, wiederholt, wenn nötig, die Operation zum vollständigen Aufschluß und raucht alsdann die trockene Haut von Fluoriden mit verdünnter Schwefelsäure ab. Es müssen reichlich graue Dämpfe von Schwefelsäure entweichen, wenn man sicher sein will, daß alles Fluorsilicium verjagt und alle Fluoride in Sulfate übergeführt wurden. Andererseits muß man sich hüten, die Verjagung der Schwefelsäure zu weit zu treiben, weil dann bei Gegenwart von Eisen und Tonerde schwerlösliche basische Salze entstehen. Nun löst man in destilliertem Wasser, dem, wenn nötig, eine Spur Schwefelsäure zugesetzt wird, unter Erwärmung und hat eine Sulfatlösung der Basen, welche die Probe enthält. Diese werden vermittelst Kapillarpipetten in kleinen Tröpfchen auf Objektgläser gebracht, um darin nun durch direkten Zusatz der Reagenzien die gewünschten charakteristischen Kristallisationen hervorzurufen. Sollen die Reagenzien nur langsam einwirken, so bringt man einen Tropfen derselben neben den Probetropfen und läßt beide dadurch, daß man sie vermittelst eines Stückchens von einem Glasfaden verbindet, ineinanderfließen. — Als weitere Aufschlußmittel sind neben der Sodaschmelze Natriumperoxyd und Bleioxyd[2]), die aber Platin stark angreifen, zu empfehlen.

[1]) Verh. K. K. geol. Reichsanst., Wien, 1918. Nr. 10; Ref. Zeitschr. f. wiss. Mikrosk. **35.** 1918. 285.

[2]) R. Canaval, Zeitschr. f. prakt. Geol. **18.** 1910. 460—461; Ref. N. J. 1913. I. 415.

Eine mikroskopische Fällung der Schwermetalle durch Schwefelwasserstoff erfolgt nach A. Streng folgendermaßen[1]): Ein Tropfen der zu fällenden Lösung wird auf einen Objektträger gebracht und hier, ohne den Tropfen selbst zu berühren, mit einem sehr kleinen Deckgläschen überdeckt, an dessen Seite mit Balsam kleine Füßchen von Kork befestigt sind; hierdurch soll der Tropfen vor dem Bespritzen durch die H_2S entwickelnde Lösung geschützt werden. In die Nähe bringt man auf dem gleichen Objektträger einen Tropfen einer Lösung von Schwefelnatrium und bedeckt beide mit einem Uhrgläschen, dessen Rand man durch 1—2 Tropfen Salzsäure abschließt. Zur Einleitung der Reaktion verschiebt man diesen feuchten Ring bis zur Berührung mit dem Schwefelnatrium-Tropfen.

Von der Methode der Lösung der Mineralien durch den Prozeß des Aufschließens macht man bei der Lötrohranalyse bekanntlich in den sog. Perlenreaktionen Gebrauch; dieselben sind von W. Florence[2]) in mikrochemischem Sinne ausgearbeitet worden[3]).

P. Gaubert[4]) benutzt die Färbung gewisser in Schwefelsäure gelöster organischer Stoffe wie Morphin, Kodein, α- und β-Naphtol, Resorzin, Phenol, Papaverin usw. durch Titan-, Niob-, Tantal-, Zinn-, Molybdän- und andere Säuren, wie sie schon früher von L. Lévy[5]) beschrieben worden war, zur Charakterisierung der Mineralien, die diese Säuren enthalten. Er bringt das nicht weiter aufgeschlossene, sondern nur sehr fein gepulverte Mineral, das die betreffende Säure enthält, in die Sulfatlösung und unterscheidet an der Art der Färbung z. B. Zinnstein und Rutil oder an der Schnelligkeit der Färbung die Titansäure in Rutil, Anatas, Brookit, Titaneisen, Titanit und Perowskit.

Im folgenden sind die erprobten Reaktionen auf die wichtigsten Grundstoffe zusammengestellt und einige zur Bestimmung der erzielten Kristallisationen zu verwendende optische Diagnosen angefügt, welch letztere leider von den Autoren hier und da zu wenig berücksichtigt wurden. — Bei den literarischen Ergänzungsstudien zu dem nächsten Paragraphen und bei der Prüfung der neu vorgeschlagenen Reaktionen auf ihre Zuverlässigkeit hatte ich mich auch der assistierenden Tätigkeit des Herrn Dr. J. Kratzert zu erfreuen.

205. Einzelreaktionen.

Kalium. Beim Eintrocknen des kieselflußsauren Aufschlusses bilden sich isotrope, schwach lichtbrechende wasserhelle Würfel, Oktaëder oder

[1]) N. J. 1893. I. 49.
[2]) N. J. 1898. II. 102—146.
[3]) s. auch K. Haushofer, Verhalten der Silikate im Phosphorsalz. S. M. A. **19.** 1889.
[4]) Bull. Soc. Min. Fr. **33.** 1910. 324—326; Ref. N. J. 1911. II. 165.
[5]) C. R. **103.** 1886. 1074, 1195.

Kombinationen dieser Formen untereinander und mit dem Rhombendodekaëder von K_2SiF_6 (Taf. VII Fig. 2 und 3)[1]). Gelegentlich entstehen, zumal bei hohem Na-Gehalt und aus konzentrierter Lösung, stark doppelbrechende, anscheinend rhomboëdrische, in Wirklichkeit monokline Kriställchen mit kleinem Winkel der optischen Achsen und positivem Charakter. Löst man diese in heißem Wasser und läßt wieder auskristallisieren, so erhält man sofort die normalen Gestalten; bisweilen kehrt aber die monokline Modifikation hartnäckig wieder[2]). — In der mit Flußsäure aufgeschlossenen, salzsauren oder schwefelsauren Lösung entstehen mit Platinchlorid scharf ausgebildete gelbe Oktaëder, seltener Würfel oder kombinationsreiche Kriställchen von Kaliumplatinchlorid (K_2PtCl_6) von hoher Lichtbrechung. — Ammonium, Rubidium und Caesium geben dieselbe Reaktion. Zur Unterscheidung von Kalium und Caesium von Rubidium kann Zinnchlorür, von Kalium und Rubidium von Caesium kann Platinchlorür dienen, worüber bei A. Streng[3]) näheres zu finden ist.

Ammoniak wird vollkommen einwandfrei bestimmt, wenn man nach A. Streng[4]) einen Tropfen Platinchlorid auf den Objektträger und daneben einen Tropfen der auf Ammoniak zu prüfenden Lösung bringt. Zu dieser fügt man etwas Ätzalkali und bedeckt sofort beide Tropfen — Platinchlorid und Lösung — mit einem kleinen Uhrglas, das über die Ränder des Objektträgers nicht hinausragt. Das etwa vorhandene Ammoniak wird frei, diffundiert in die Platinchloridlösung und bildet hier die bekannten gelben Oktaëder des Ammonium-Platin-Doppelsalzes. Der Schroeder van der Kolksche Mikro-Exsikkator (S. 730) ist hier ebenfalls zu verwenden.

Natrium. Aus kieselflußsaurer Lösung entstehen beim Eintrocknen hexagonale Kombinationen (Taf. VI Fig. 6 und Taf. VII Fig. 1) $(10\bar{1}0)$ (0001) oder $(10\bar{1}0)$ $(10\bar{1}1)$ von Na_2SiF_6. Diese Bořickysche Probe ist selbst bei sehr kleinen Mengen überaus scharf und sicher. Die Kristalle liegen bald auf der Prismenfläche, bald auf der Basis, sind farblos, sehr schwach licht- und doppelbrechend, mit negativem Charakter. Die Pyramide ist recht stumpf $(10\bar{1}1) : (10\bar{1}\bar{1}) = 113\,^{0}54'$. Die Kriställchen pflegen umso länger zu werden, je kalkreicher die Lösung ist. — A. Streng[5]) schlug die Fällung des Natrons aus seinen Lösungen mit essigsaurem Uranoxyd als essigsaures Uranoxydnatron in Tetraëdern und tetraëdrischen Kombinationen von hellgelber Farbe vor. Das käufliche Reagens ist natronhaltig und das gereinigte nimmt nach längerer Zeit aus dem Glase

[1]) E. Bořicky, N. J. 1879, 564.
[2]) Vergl. B. Frosterus, T. M. P. M. **13.** 1892. 183.
[3]) N. J. 1888. II. 146—148.
[4]) N. J. 1893. I. 49.
[5]) Ber. Oberhess. Ges. f. Natur- u. Heilk. 1885. 56—58; N. J. 1885. I. 34—37. 1888. II. 149.

wieder Natrium auf, weshalb es besser ist, das feste, pulverisierte Salz aufzubewahren und davon jedesmal einige Körnchen zu nehmen. Der Nachweis durch Spektralanalyse ist wegen der Ubiquität des Natriums nicht leicht einwandfrei zu führen.

Lithium. Aus kieselflußsaurer Lösung scheiden sich beim Eintrocknen stumpfe monokline Kombinationen von hexagonalem Habitus (Taf. VII Fig. 4) oder Sphärokristalle aus. Diese Bořickysche Reaktion wird von Behrens nicht empfohlen. Besser ist in der Tat die Behrensche Reaktion, die mit Ammoniumfluorid Würfel und im Überschuß angewendet rechtwinklige Rosetten ausfällt. — Aus schwefelsaurer Lösung erhält man nach Entfernung des Gipses mit kohlensaurem Kali schneeflockenähnliche oder deutlicher monokline Kristalle mit oft rechteckigem Querschnitt von Lithiumkarbonat (Behrens 1881). Nach Haushofer (1884) fallen aus neutraler, nicht zu verdünnter Lösung bei hoher Temperatur nach Zusatz von Natriumphosphat Durchkreuzungszwillinge von spindelförmigen Kriställchen und sternähnliche Gruppierungen von $Li_3PO_4 + H_2O$ aus. Die sehr kleinen Kriställchen wurden von C. A. Mc. Mahon optisch näher untersucht[1]). — Die spektralanalytische Untersuchung macht jede Kristallreaktion unnötig oder läßt die letztere nur als wünschenswert erscheinen, wenn es sich darum handelt, Anhaltspunkte über die relativen Mengen dieses Li-Bestandteils zu erhalten.

Barium. Die Kriställchen, die sich aus kieselflußsaurer Lösung ausscheiden, sind sehr undeutlich und wenig charakteristisch. Beim Aufschluß mit Flußsäure und Schwefelsäure bleibt Barium als Sulfat ungelöst. Bringt man diesen Rückstand durch kochende Schwefelsäure in Lösung, so fallen aus einem auf dem Objektglas sich abkühlenden Tropfen, lange ehe Gips auskristallisiert, teils fast rektanguläre Kristalltafeln, teils andreaskreuzartige Wachstumsformen aus. — Schließt man den unlöslichen Rückstand nicht mit kochender Schwefelsäure, sondern durch Schmelzen mit Alkalikarbonat auf, wäscht aus, bis das Waschwasser nicht mehr auf Schwefelsäure reagiert, löst den Rückstand in Salzsäure oder Salpetersäure, so entstehen nach Haushofer (1884) in der Lösung bei langsamem Zusatz von Kaliumchromat blaßgelbe Kristalle und Kristallskelette, die denen des Bariumsulfats aus kochender Schwefelsäure in der Form durchaus ähneln. Da hierbei auch Strontium gefällt werden kann, ist es nach Behrens besser, die Fällung mit Kaliumbichromat bei Gegenwart von Natriumacetat in essigsaurer Lösung vorzunehmen. Bei großem Überschuß von Natriumacetat und in der Siedehitze scheidet sich auch das Strontiumsalz aus. Man kann also unter Einhaltung dieser Bedingungen Barium neben Strontium nachweisen. Ferner läßt sich Barium zum Unterschied von Calcium und Strontium in schwach salzsaurer Lösung mittelst Kieselfluorammonium als Kieselfluorbarium in

[1]) Min. Mag. **10.** 1893. 229—233.

gut ausgebildeten Stäbchen mit schiefer Endfläche erhalten. — Setzt man nach Streng (1885) zu der Lösung von Chlorbarium statt Kaliumchromat eine Lösung von Ferrocyankalium, so fallen beim Eintrocknen hellgelbliche Rhomboëder von Ferrocyanbarium-Kalium.

Strontium kristallisiert aus kieselflußsauren Lösungen beim Eintrocknen in scharfkantigen und ebenflächigen Säulchen oder Blättchen des monoklinen Systems ($SrSiF_6 + 2aq$), die dem Kieselfluorcalcium sehr ähneln. Bei der Behandlung mit Schwefelsäure entstehen rhombische Tafeln des Strontiumsulfats, was zur Unterscheidung vom Kalksalz dient. — Bei der Aufschließung mit Flußsäure und Schwefelsäure bleibt das Strontium im unlöslichen Rückstand. Aus der siedenden schwefelsauren Lösung kristallisieren rhombische Tafeln von Cölestin. — Wird der Rückstand mit Alkalikarbonat geschmolzen und behandelt, wie bei Barium angegeben wurde, so fallen aus der verdünnten neutralen Lösung nach Zusatz von Oxalsäure wasserhelle quadratische Kristalle des Strontiumoxalats von oktaëdrischem Habitus aus; bei Gegenwart von Calcium ist die Reaktion nicht charakteristisch.

Calcium. Aus kieselflußsauren Lösungen scheiden sich beim Eintrocknen monokline Kristalle von $CaSiF_6 + 2aq$ ab, die überaus mannigfache Formen annehmen. Bald sind es spießige, dornähnliche, auch verästelte Gruppen und Einzelkristalle, bald rhomboidale Täfelchen, am häufigsten spindelförmige Individuen von nicht sehr starker Doppelbrechung (Taf. VII Fig. 5 u. 6). Sehr charakteristisch ist für alle Formen der Mangel geradliniger und die Neigung zu krummliniger Begrenzung. Auf Zusatz von verdünnter Schwefelsäure werden sie zersetzt, und es entstehen an ihrer Stelle die langprismatischen Kristalle des Gipses. — Bei Aufschluß mit Fluß- und Schwefelsäure geht, sobald der Kalkgehalt des Silikats ein bedeutender ist, nur ein Teil des Calciumsulfats in Lösung; bei geringem Gehalt und einem Überschuß verdünnter Schwefelsäure geht aller Kalk ohne Rückstand in Lösung, und es scheiden sich dann am Rande des Tropfens die charakteristischen Säulchen und Blättchen des Gipses (110) (010) ($11\bar{1}$), zumeist auf (010) liegend, in Einzelkristallen, Berührungs- und Durchkreuzungszwillingen oder in sternförmigen Gruppen aus (Taf. VIII Fig. 2). Man beschleunigt die Ausscheidung des Gipses, wenn man das Präparat mit einem Pappschächtelchen überdeckt, in das man einen Tropfen Alkohol gegossen hatte. In der Gipsbildung hat man die empfindlichste und sicherste Reaktion auf Ca. — Über den Nachweis von Calcit in Zeolithen vergl. St. J. Thugutt[1]), über den von Gips und Anhydrit in Kalkstein und Dolomit F. Tućan[2]).

---

[1]) Sitzber. Warschauer Ges. Wiss. 1911. 38—41; Ref. Z. X. **54.** 1915. 197.

[2]) Zentralbl. f. Min. usw. 1908. 134—136; Ref. Z. X. **49.** 1911. 415.

Zur Unterscheidung des Calciumkarbonats in der Form des Kalkspats und des Aragonits dienen zwei von W. Meigen[1]) angegebene Reaktionen. Nach der einen kocht man fein gepulverten Aragonit mit einer verdünnten Lösung von Kobaltnitrat und erhält alsbald ein hell-lila, nach längerem Kochen dunkel-lila gefärbtes Pulver. Behandelt man Kalkspat in der gleichen Weise, so bleibt er farblos oder wird erst nach 5 bis 10 Minuten langem Kochen hellblau. St. Kreutz hat die Anwendbarkeit dieser Reaktion auf alle rhombischen und rhomboëdrischen Karbonate ausgedehnt[2]). Nach der andern Reaktion läßt man eine kalte konzentrierte Lösung von Mohrschem Salz [$(NH_4)_2SO_4$. $FeSO_4$ + 6aq] auf Kalkspat einwirken, der das in der Lösung durch Luftoxydation entstandene Eisenoxyd mit gelber Farbe niederschlägt, während Aragonit sehr bald einen dunkelgrünen Niederschlag von Eisenhydroxyduloxyd erzeugt[3]). Bei Aragonit, der durch einen Eisengehalt oder durch andere Beimengungen gefärbt ist, kann die Meigensche Reaktion versagen. In diesem Fall empfiehlt Thugutt[4]) die Anwendung einer wässerigen Kongorotlösung (1 : 1000) oder einer alkalischen Alizarinlösung (1 : 1000 H_2O : 1 HNaO) oder noch besser die Reaktion mit Silbernitrat und Kaliumchromat. Der grelle Farbenton des Silberchromatüberzugs ermöglicht auch bei dunkelgefärbtem Aragonit dessen Erkennung und Unterscheidung von Calcit.

Magnesium. Aus kieselflußsaurer Lösung kristallisiert $MgSiF_6$ + 6aq in rhomboëdrischen Kristallen, die am häufigsten die Kombination, $(11\bar{2}0)$ $(10\bar{1}1)$, seltener $(10\bar{1}1)$ $(11\bar{2}0)$ oder $(10\bar{1}1)$ (0001) zeigen. Sie sind stets sehr scharfkantig und ebenflächig, von mittlerem Brechungsvermögen, stark doppelbrechend, mit positivem Charakter, polarisieren meist in den grellen Farben der 2. Ordnung und zeigen bei geeigneter Lage ein sehr deutliches Interferenzbild. Sie sind farblos (Taf. VIII Fig. 1). — In hohem Grade charakteristisch ist die Bildung der Struvitkristalle (NH_4MgPO_4 + 6 aq) mit ihren sargdeckelähnlichen hemimorphen Formen (Taf. VIII Fig. 4 und 5), die von O. Richter[5]) näher untersucht wurden, und an deren natürlichem Vorkommen O. B. Böggild die optischen Eigenschaften bestimmte[6]). Man erhält die Kristalle in vollkommenster Ausbildung aus stark verdünnter Lösung, der man Salmiak und Ammoniak bis zu deutlich basischer Reaktion zusetzt. Man bringt direkt ein Körnchen Phosphorsalz an den Rand der Lösung oder setzt ein Körnchen Natriumphosphat zu. Die

---

[1]) Zentralbl. f. Min. usw. 1901. 577—578; Ber. d. oberrh. geol. Ver. 1902. 31—33; s. auch C. Doelter, Handb. 1911. S. 109.

[2]) T. M. P. M. **28.** 1909. 487—488; Ref. Z. X. **50.** 1912. 426.

[3]) S. auch G. Wyrouboff, Bull. Soc. Min. Fr. **24.** 1901. 371—373. **25.** 1902. 70—71. Ferner R. Panebianco, Rivista di Min. e Crist. **28.** 1902. 5.

[4]) Zentralbl. f. Min. usw. 1910. 786—790; Ref. Z. X. **53.** 1914. 494; s. auch Comptes Rendus Soc. Sc. Varsovie. **5.** 1912. 93—103, polnisch mit französischem Auszug.

[5]) T. M. P. M. **20.** 1901. 89—98.

[6]) Meddelelser fra Dansk geol. Vereening. **13.** 1907. 32.

Kriställchen scheiden sich langsam in der Kälte aus, rasch beim Erwärmen. Doch entstehen in dem letzteren Fall leicht sehr unsicher erkennbare Wachstumsformen; ebenso bilden sich diese anfangs aus konzentrierten Lösungen, und erst nach dem Ausscheiden der Hauptmenge des Salzes fallen die charakteristischen Kristalle aus. Bei mittlerem Brechungsvermögen ist die Doppelbrechung schwach.

Zur Unterscheidung der reinen und magnesiumarmen Calcite einerseits, der Dolomite und magnesiumreichen Calcite andererseits, bedient sich G. Linck[1]) einer Lösung von phosphorsaurem Ammon in verdünnter Essigsäure. Schon bei einem Gehalt von 12—15 % $MgCO_3$ hört die Einwirkung der Essigsäure auf das Karbonat auf, weil sich dieses rasch mit einer Haut von Magnesiumphosphat überzieht. Linck stellte die von ihm benutzte Lösung dadurch her, daß er 20 ccm offizineller Phosphorsäure schwach mit Ammoniak übersättigte, mit ca. 30 ccm offizineller Essigsäure mischte und diese Mischung auf etwa 100 ccm mit destilliertem Wasser verdünnte.

Dolomit und Calcit lassen sich auch durch ihre verschiedene Löslichkeit in 10prozentiger Aluminiumchloridlösung unterscheiden[2]); Dolomit wird nur sehr langsam angegriffen. Schließlich kann man auch eine salzsaure Ferricyankaliumlösung zur Unterscheidung und gleichzeitig zum Nachweis von FeO benutzen[3]). Brauchbar erweist sich eine solche Lösung, die auf 3 ccm $^1/_{10}$ n-Salzsäure einige Tropfen einer Ferricyankaliumlösung enthält. Dolomit färbt sich deutlich blau, Calcit bleibt ungefärbt.

Beryllium. Die natürlichen Berylliumverbindungen sind durch Aufschließen mit Alkalikarbonat in Lösung überzuführen. Löst man den Aufschluß in Salzsäure, nachdem er zuvor mit heißem Wasser ausgelaugt wurde, so fallen nach Haushofer (1884) aus einem Tropfen der salzsauren Lösung nach Zusatz von Platinchlorid beim Eintrocknen über Schwefelsäure scharfe quadratische und oktogonale, fast farblose Tafeln von $BePtCl_6 + 8\,aq$ mit optisch negativem Charakter aus. — Eine andere, von Behrens (1891) angegebene Reaktion, besteht in der Darstellung des Kalium-Berylliumoxalats $K_2C_2O_4.BeC_2O_4$, das auf Zusatz von Kaliumoxalat in mäßigem Überschuß zu einer konzentrierten Lösung von Berylliumoxalat in Form dicker, stark lichtbrechender, monokliner Kristalle mit gipsähnlicher Verzwillingung entsteht.

Eisen. Aus kieselflußsaurer Lösung fallen beim Eintrocknen Kristalle von $FeSiF_6 + 6\,aq$, die vollständig isomorph mit dem Magnesium-

[1]) Inaug.-Diss. Straßburg i. E. 1884. Abh. geol. Spezialkarte von Elsaß-Lothringen. Bd. III. Heft **1.** 17; s. auch Ber. Oberrh. Geol. Ver. **16.** 1883. 11—13.

[2]) J. Lemberg, Z. D. G. G. **40.** 1888. 357. E. A. Wülfing, Jahresh. d. Ver. f. vaterl. Naturk. i. Württ. **56.** 1900. 19—20.

[3]) K. Krech, Jahrb. K. Pr. Geol. Landesanst. 1909. I.; s. auch W. Heeger, Zentralbl. f. Min. usw. 1913. 44—51.

salz sind und dieselben optischen Eigenschaften haben. Zur Unterscheidung dient das Befeuchten mit Ferrocyankalium oder Schwefelammonium; im ersten Falle werden sie blau, im zweiten schwarz. — Sehr leicht erkennbar sind auch die amorphen Niederschläge mit Ferrocyankalium oder Ammoniak.

Will man auf das Vorhandensein von gediegen Eisen in einem Präparat prüfen, so bedeckt man dieses nach A. E. Törnebohm[1]) mit etwas Kupfervitriollösung, aus der sich bei Anwesenheit von metallischem Eisen auf diesem eine Haut von metallischem Kupfer niederschlägt. — A. von Lasaulx[2]) empfiehlt, um die Verwechslung mit Rostüberzügen zu vermeiden, die Anwendung der zur mechanischen Trennung der Mineralien benutzten Lösung von Cadmiumborotungstat, die sich durch Reduktion in der Umgebung von metallischem Eisen tief violblau färbt. Zink und Kupfer würden dieselbe Wirkung haben und dürfen also nicht zugegen sein.

Mangan. Aus kieselflußsaurer Lösung entstehen Kristalle von $MnSiF_6 + 6\,aq$, die isomorph mit dem Mg-Salze sind und dieselben optischen Eigenschaften zeigen wie dieses. Bei einiger Dicke sind sie hellrosa. Zur Unterscheidung dient die rötliche bis bräunlichweiße Färbung des Mangankieselfluorids beim Befeuchten oder besser Behauchen mit Schwefelammonium. Die beste und empfindlichste Reaktion bleibt immer die jedem Mineralanalytiker geläufige Grünfärbung der Soda-Salpeterschmelze durch Natriummanganat.

Nickel. Aus kieselflußsaurer Lösung bilden sich beim Eintrocknen mit dem Mg-Salze isomorphe und dasselbe optische Verhalten zeigende Kristalle von $NiSiF_6 + 6\,aq$. Sie sind hellgrünlich. Aus schwefelsaurer Lösung entstehen beim Zusatz von Kieselflußsäure und Eintrocknen gern Sphärokristalle mit dem Interferenzkreuz zwischen gekreuzten Nicols, oft auch mit farbigen Ringen. Nach Schroeder van der Kolk[3]) erhält man sehr charakteristische Kristallisationen, wenn man einen Tropfen des Nickelsalzes mit einem Tropfen Anilin etwa im Mikroexsikkator verdunsten läßt. Es sind bald runde Scheibchen, die aus radial gestellten, gerade auslöschenden Nädelchen bestehen mit dem größten Vektor (a) in der Längsrichtung, bald Rhomben mit Winkeln von 100° und dem größten Vektor in der Richtung der längeren Diagonale. Auch zeigen sich schief abgestumpfte Stäbchen, die dadurch auffallen, daß sie wegen großer Bisektrix-Dispersion im weißen Licht nie auslöschen. Die Auslöschungsschiefe beträgt für Rot (Kupferoxydulglas) 39°—40°, für Blau (Kobaltglas) 32°—39°. — Weitaus am zuverlässigsten ist das aus schwach essigsaurer oder ammoniakalischer Lösung durch Zusatz von

[1]) Bihang till Svenska Vet. Akad. Handl. **5.** 1878. Nr. 10. 7.
[2]) Sitzungsber. niederrh. Ges. Bonn. **39.** 1882. 212.
[3]) Zeitschr. f. wiss. Mikrosk. **10.** 1893. 451—453.

festem Dimethylglyoxim erhaltene rote, pleochroitische, nadelförmige Nickelglyoxim[1]). Kobalt gibt keine ähnliche Reaktion, stört also nicht.

Kobalt. Die aus kieselflußsaurer Lösung fallenden Kristalle von $CoSiF_6 + 6aq$ haben alle Eigenschaften des isomorphen Magnesiumsalzes, zeigen aber oft mehr rhomboëdrischen als prismatischen Habitus und sind rötlich bis bräunlichgelb gefärbt.

Eine charakteristische Reaktion auf Kobalt hat O. Richter angegeben[2]), indem er den mit Struvit isomorphen Kristallen von $Co(NH_4)PO_4 + 6H_2O$ durch zweiprozentige Kalilauge oder Alkohol oder Glyzerin oder auch nur durch Erhitzen Wasser entzieht und dadurch Blaufärbung hervorruft. Ebenfalls sehr charakteristisch sind die aus ammoniakalischer Lösung durch Kaliumnitrit und Essigsäure erhaltenen dunkelgelben Oktaëder von Kaliumkobaltnitrit, die zur Unterscheidung von Nickel dienen.

Chrom. Die in den Gesteinen vorkommenden Chromverbindungen (Chromit, Picotit, Chromdiopsid) sind wegen ihrer sehr schweren Angreifbarkeit leicht zu isolieren und auf ihren Chromgehalt durch die bekannte Perlenfärbung zu prüfen. Um Kristallreaktionen zu erhalten, muß das Chrom zuvor in lösliches Alkalichromat übergeführt werden. Man schmilzt nach Haushofer (1884) am Platindraht mit Fluorkalium im Oxydationsfeuer, löst das Schmelzprodukt in einem Tropfen Wasser, säuert schwach mit Salpetersäure an und fügt Silbernitrat zu. Es bilden sich rhombische Täfelchen, deren spitzer Winkel etwa 72° beträgt und deren stumpfe Kante oft durch ein Pinakoid abgestumpft erscheint; auch werden Wachstumsformen beobachtet. Die Kristalle sind stark lichtbrechend und haben im durchfallenden Licht bei hinreichender Dünne hyazinthrote Farbe. Neben den rhombischen Tafeln erscheinen auch rektanguläre und quadratisch begrenzte Täfelchen.

Aluminium. Tonerde scheidet sich aus kieselflußsaurer Lösung gelatinös aus (Taf. VII Fig. 1). Zur Unterscheidung des kolloidalen Tonerdegels von Diaspor, Hydrargillit, Kaolin und Limonit in Beauxiten bedienen sich C. Doelter und E. Dittler[3]) einer konzentrierten Lösung von Methylenblau-Säurefuchsin, die von den Kolloiden des Präparats aufgenommen wird, von den übrigen Gemengteilen aber nicht. — Aus schwefelsaurer Lösung fallen nach Behrens (1881) nach Zusatz einer winzigen Quantität von Caesiumchlorid oder Caesiumsulfat scharfe und große, stark lichtbrechende, reguläre Kristalle von Caesiumalaun aus. Dieselben zeigen vorwiegend die Formen (111), (111) (100) (Taf. VIII Fig. 3), seltener und zumal aus neutraler Lösung (100). Die Kristalle zeigen niemals die sonst so häufigen optischen Anomalien der Alaune (siehe die Erklärung

[1]) L. Tschugaeff, Ber. d. D. Chem. Ges. **38.** 1905. 2520—2522.
[2]) T. M. P. M. **20.** 1901. 99—109.
[3]) Zentralbl. f. Min. usw. 1912. 19—22.

in § 72, S. 214). Ist die Lösung zu konzentriert, so entstehen vielverzweigte Wachstumsformen; man löst in Wasser und läßt wieder eintrocknen. Ein zu großer Überschuß an Schwefelsäure verzögert die Bildung der Kristalle, man stumpft dann am besten durch Zusatz von Natriumacetat ab.

Cerium. Aus verdünnten Lösungen des Ceriumsulfats oder Chlorids entsteht nach Haushofer (1883) bei Zusatz von Oxalsäure oder Ammoniumoxalat ein Niederschlag, der, anfangs flockig, bald deutlich kristallin wird und aus feinen, beiderseits zugespitzten, oft auch gegabelten und gezähnten Prismen besteht, die sich bei einiger Konzentration gern zu radialen Gruppen ordnen. Die Kriställchen löschen schief aus und sind stark doppelbrechend. Aus heißen, sehr verdünnten Lösungen fallen dünne rhomboidale Tafeln, deren spitzer ebener Winkel etwa 86° beträgt, und die oft rechtwinklig durcheinanderwachsen; sie scheinen monoklin zu sein. Nach Behrens eignet sich an Stelle des Oxalats besser das Ammoniumsuccinat zum Nachweis und zur Trennung von Ce, La, Pr, Nd, Sm.

Thorium. Aus einer wäßrigen Lösung des Sulfats kristallisieren dick-prismatische Kristalle des $Th(SO_4)_2 + 3H_2O$, die von der ähnlichen Ceritverbindung durch Zusatz von basischem Ammoniumkarbonat unterschieden werden. Das Thoriumsalz löst sich in einem Überschuß dieses Reagenzes auf, während die Ceritmetalle als Karbonate gefällt werden (Behrens 1891). — Zum Nachweis sehr kleiner Mengen von Thorium neben andern Elementen empfiehlt Behrens-Kley (1915) die Fällung des Thallothoriumkarbonats in Form kleiner scharfer rautenförmiger Blättchen von 70° spitzem Winkel mit schwacher Doppelbrechung und dem Lichtvektor $\mathfrak{a}$ in der Richtung der längeren Diagonale.

Yttrium. Aus verdünnten heißen, neutralen oder schwach schwefelsauren Lösungen fallen nach Haushofer (1883) bei Zusatz von Oxalsäure sehr mannigfach gestaltete, stark doppelbrechende Kristalle, nämlich: 1. gipsähnliche, schief auslöschende Blättchen; 2. rhomboëderähnliche, spitze, wohl auch monokline Formen; 3. kleine rechtwinklige Lamellen, die an den Enden oft gegabelt und gezähnt sind und zu gitterförmigen Gruppen verwachsen; ihre Auslöschung liegt parallel zur Längsseite; 4. kürzere oder längere kannelierte Säulchen, die sich, wenn sie aufrecht stehen, als dem rhombischen System zugehörige Sechslinge nach dem Typus des Aragonits erweisen. Die seltenen einfachen Kristalle dieser Form zeigen auf der Basis den spitzen ebenen Winkel von $(110) : (1\bar{1}0)$ zu 72°—73°. Daneben entstehen stets lang-dornenförmige Kristalle mit rechtwinklig ansetzenden dornenförmigen Nebenindividuen; 5. quadratische und oktogonale dünne Täfelchen, die sich oft zu dicktafelförmigen oder kugeligen und knospenförmigen Aggregaten gruppieren. Die Tafeln sind im parallelen Licht isotrop, also wohl quadratisch. Die

Formen 1 und 2 gehen in der Lösung allmählich in die Formen 4 und 5 über. — Verdunstet man die Lösung von Yttriumsulfat auf dem Objektgläschen bis zur Kristallbildung und läßt dann einen Tropfen konzentrierter Oxalsäure hinzutreten, so bilden sich auf den Kriställchen die kugligen und knospenförmigen Aggregate der Form 5, und mit abnehmender Wirkung des Reagenzes immer reiner die quadratischen Tafeln. — Auch durch Zusatz von oxalsaurem Ammoniak zu Yttriumsulfatlösungen entstehen quadratische und oktogonale Blättchen des tetragonalen Systems.

Erbium verhält sich bei analoger Behandlung genau wie Yttrium. Eine Reaktion zur Unterscheidung von Yttrium und Erbium ist von Pozzi-Escot und Couquet[1]) angegeben worden. Hiernach sollen die Yttriumsalze mit Ammoniumchromat in wenigen Minuten hexagonale, längliche Kristalle geben, während die Erbiumsalze mit dem gleichen Reagens schlechte oder keine Kristalle entstehen lassen.

Chlor. Der Nachweis wird hauptsächlich bei den Mineralien der Sodalithgruppe wichtig. Man bringt die gepulverte Substanz in den kleinen halbkugelförmigen Platintiegel und übergießt mit etwas konzentrierter Schwefelsäure. Der Tiegel wird mit einem kleinen Deckgläschen bedeckt, an dessen unterer Fläche ein Tropfen Wasser hängt, während auf der oberen Fläche ein Tropfen Wasser zur Kühlung dient. Man erwärmt mäßig und fängt die entweichende Salzsäure in dem Tropfen am Deckgläschen auf. Nach Entfernung des Kühltropfens wird das Deckgläschen abgehoben und der daran hängende Tropfen mit dem Destillat auf ein Objektglas übertragen. Bringt man nun nach Behrens (1881) in die Mitte desselben ein Körnchen Thalliumsulfat, so bilden sich Oktaëder und die Kombinationen von (111) (110) des Thalliumchlorids. Dieselben sind stark lichtbrechend und durch Totalreflexion bei schwachen Vergrößerungen nahezu undurchsichtig. Sehr empfindlich ist die Chlorreaktion durch Bildung des Thalliumplatinchlorids Tl_2PtCl_6 bei Zusatz von einer Spur Platinsulfat zur Thalliumchloridlösung (Behrens-Kley 1915). — Oder man fällt nach Haushofer (1884) in dem Tropfen mit Silbernitrat käsiges Chlorsilber, setzt starke Ammoniakflüssigkeit zu und erhält nach dem Eintrocknen die stark lichtbrechenden regulären Kriställchen (111) und (100), seltener mit (110) des Chlorsilbers. — Man vergleiche auch die Graeffsche Reaktion auf S. 737.

Fluor. Fluorhaltige Silikate destilliert man mit Schwefelsäure, wenn sie in dieser löslich sind. Ist das nicht der Fall, so schließt man im Platintiegelchen mit dem doppelten Volumen Soda auf, dampft die geschmolzene Probe mit Essigsäure bis zur Trockne ab, um das spätere Spritzen zu vermeiden, befeuchtet mit Schwefelsäure und bedeckt das Tiegelchen mit einem konvexen Platindeckelchen. An der nach unten

[1]) C. R. **130.** 1900. 1136.

gewandten konvexen Seite wird ein Tropfen Wasser zur Aufnahme des durch mäßige Erwärmung zu erhaltenden Destillats gehängt, und oben auf der konkaven Seite Wasser zur Kühlung aufgefüllt. Bringt man nun den Tropfen mit dem destillierten Fluorsilicium auf ein mit Kanadabalsam überzogenes Objektglas, so gibt ein Zusatz von Chlornatrium beim Eintrocknen die hexagonalen, oben beschriebenen Kriställchen von Na_2SiF_6. — Enthält das zu untersuchende Mineral keine SiO_2 (Fluorit), so mischt man es mit pulveriger Kieselsäure; oder man setzt die Flußsäure durch Schwefelsäure in Freiheit und führt eine Glasätzung aus. Dazu bedeckt man das Tiegelchen mit einem kleinen Uhrglas, das bis auf einige Striche mit Wachs überzogen ist.

Schwefel kommt als Schwefelsäure zum Nachweis, indem man mit Chlorbarium fällt oder ein Kalksalz zusetzt und die charakteristischen Gipskristalle entstehen läßt. Aus manchen Sulfiden wird der Schwefel durch Säuren als Schwefelwasserstoff ausgetrieben, der dann durch Bleiwasserpapier nachzuweisen ist.

Phosphor tritt unter den gesteinbildenden Mineralien nur in den Phosphaten auf, die mit wenigen Ausnahmen in Säuren löslich sind und unmittelbar mit salpetersaurer Lösung von molybdänsaurem Ammoniak behandelt, beim Eintrocknen die im auffallenden Licht gelblichen, im durchfallenden Licht grünlichen rhombendodekaëderähnlichen Kriställchen des bekannten Niederschlags geben (Taf. VIII Fig. 6). War die angewandte Probe nicht rein und vermutet man die Anwesenheit gelöster Kieselsäure, so wird die Lösung zunächst auf dem Objektglas eingetrocknet und die Kieselsäure unlöslich gemacht, dann wieder in Salpetersäure gelöst und das Reagens zugesetzt (siehe auch A. Streng 1885, 29—33). — Unlösliche Phospate lassen sich zuweilen durch Glühen löslich machen, wie Lazulith, oder sind, wenn nicht in Salz- oder Salpetersäure, doch in Schwefelsäure zu lösen, wie Amblygonit und Fischerit, oder werden schließlich mit Soda aufgeschlossen. — Ebenso scharf ist die Reaktion mit Salmiak und Magnesiumsulfat, wodurch man die Phosphorsäure als phosphorsaure Ammoniak-Magnesia in Kristallen (Taf. VIII Figuren 4 und 5) erhält.

Stickstoff in den Nitraten ist nach Brauns und Schroeder van der Kolk[1]) durch das regulär kristallisierende $Ba(NO_3)_2$ nachzuweisen. Um die Lösungen des Bariums und des zu untersuchenden Nitrats nicht in Berührung zu bringen, wendet Schroeder van der Kolk seinen Mikroexsikkator (s. o. S. 730) an, in dessen Höhlung das fragliche Nitrat mit etwas Schwefelsäure gebracht wird, und an dessen Deckgläschen man einen Tropfen einer $Ba(OH)_2$-Lösung bringt. Auch kann man den Seite 747 beschriebenen Strengschen Kunstgriff bei der Schwefelwasserstoffällung hier passend anwenden.

[1]) N. J. 1897. I. 73 und 219.

Kohlenstoff wird in den Karbonaten nachgewiesen, wie dies Seite 733 angegeben ist. Graphit läßt sich von amorpher Kohle sowie von den verschiedenen Mineralkohlen (Braun- und Steinkohle, Anthrazit) dadurch unterscheiden, daß er auf dem Platinblech an der Luft auch in kleinen Massen nur sehr schwer verbrennbar ist[1]).

Silicium. Wird der Nachweis von Kieselsäure notwendig, so schmilzt man nach van Werveke ein Körnchen der Probe mit Soda am Platindraht, bringt die Perle auf einen mit Balsam überzogenen Objektträger und befeuchtet mit wässeriger Flußsäure. Es bilden sich beim Eintrocknen die Taf. VI Fig. 6 und Taf. VII Fig. 1 dargestellten Kriställchen von Na_2SiF_6. Die Flußsäure ist vorher durch blinden Versuch auf ihre Reinheit bezüglich Kieselflußsäure zu prüfen.

Bor tritt in den gesteinbildenden Mineralien nur zusammen mit Kieselsäure auf. Man löst die Probe mit Flußsäure und Schwefelsäure im Platintiegelchen und dampft bis zur Trockne ein, um den größten Teil des Siliciumfluorids zu verjagen und alsdann wieder Flußsäure zuzusetzen. Das Tiegelchen, mit dem konvexen Platindeckel bedeckt, an dessen Unterfläche ein Wassertropfen hängt, wird bis zur beginnenden Entweichung von Schwefelsäuredämpfen erwärmt. Der Wassertropfen hat alsdann die Destillate von Fluorsilicium und Fluorbor aufgenommen. Man verdampft den Tropfen, erwärmt bis zu 120°, löst nach einigen Minuten den Rückstand in Wasser, bringt die Lösung auf ein Objektglas und setzt Chlorkalium zu. Es bilden sich beim Eintrocknen die rautenförmigen Kristalltafeln des Kaliumfluorborats (Fig. 668). — Hat man das Siliciumfluorid nicht verjagt, so erhält man daneben reichliche Oktaëder von Kaliumfluorsilikat. — Die als Turnersche Probe bekannte Flammenreaktion auf Bor bedarf keiner Beschreibung. Besonders gut gelang R. Canaval[2]) diese Borreaktion bei einem Turmalin, wenn das fein gepulverte Mineral mit $^1/_3$ Quarz und dann im Verhältnis 1 : 1 mit Bleioxyd gemischt im Aluminiumlöffel aufgeschlossen wurde.

Fig. 668.

Titan. Schmilzt man nach Schöner[3]) eine Probe eines titanhaltigen Minerals am Platindraht vorsichtig mit einem Korn entwässerten Kaliumbisulfats zusammen, bringt die Schmelze auf einen Porzellanscherben und befeuchtet sie mit einem Tropfen Wasserstoffsuperoxyd in wäßriger Lösung, so färbt sich die Probe und die Lösung gelb bis orangegelb, je nach der Menge der vorhandenen Titansäure. Die Reaktion ist auch bei den kleinsten

[1]) Über die mikroskopisch-chemische Behandlung der amorphen Mineralkohlen arbeiteten auch F. Schulze (S. B. A. 1885. 676–678), C. W. v. Gümbel (S. M. A. **13.** 1883. 111—216) und J. Wiesner (S. W. A. **101.** 1892. 379—418).

[2]) Z. X. **51.** 1913. 627.

[3]) Zeitschr. f. analyt. Chem. **9.** 1870. 41.

Mengen überaus scharf und wird nur bei Gegenwart von Flußsäure oder Alkalifluoriden weniger empfindlich oder auch ganz aufgehoben [1]). Die gelbe Färbung beruht auf der Bildung von TiO_3. Siehe auch die Gaubert-Lévysche Farbreaktion auf S. 747.

Zirkon. Man schmilzt nach Michel-Lévy und Bourgeois [2]) das feine Pulver der Probe im Platintiegelchen mit Soda im Gewichtsverhältnis 1 : 2 wenige Minuten bei lebhafter Rotglut. Die mit heißem Wasser, das zweckmäßig mit HCl angesäuert werden kann, ausgelaugte Schmelze liefert durchsichtige, wasserhelle, oder durch Platin aus dem Tiegel gelblich gefärbte hexagonale Lamellen, die sich oft glimmerartig übereinander packen. Sie sind einachsig, optisch negativ und stellen eine mit Tridymit isomorphe Modifikation der Zirkonerde dar, die auch oft die Felderteilung der Tridymittafeln erkennen läßt. Hat man nicht hinreichend ausgelaugt, so findet man neben den Tafeln von Zirkonerde auch stark doppelbrechende rhomboëdrische Kristalle von Natriumzirkoniat. Es genügen 0,005 g Zirkon zur Reaktion. — Hat man größere Mengen der Probe genommen und das Gewichtsverhältnis zu Soda wie 1 : 10 gewählt, so erhält man nach etwa 5 Minuten heller Rotglut von der ausgelaugten Schmelze einen kristallinen Rückstand quadratischer Kristalle und Wachstumsformen und Zwillinge von ZrO_2, deren Formen anscheinend identisch sind mit den von Nordenskjöld an Kristallen von ZrO_2 beobachteten, die aus Borax auskristallisiert waren. Auch sie sind oft durch Platinaufnahme gelb gefärbt und sehr stark lichtbrechend. — Aus Lösungen von Zirkoniumsulfat fällt nach H. Behrens (1891) Kaliumoxalat (HKC_2O_4) farblose Pyramiden, vermutlich des quadratischen Systems, die sich leicht in HCl lösen. In Lösungen von TiO_2 bewirkt HKC_2O_4 keine Fällung. — RbCl und CsCl scheiden aus Zirkoniumsulfat farblose Oktaëder ab (nach demselben Autor). In Schwefelsäure unlösliche Zirkonverbindungen werden am besten durch Schmelzen mit NaOH und NH_4F und Abdampfen mit einem Überschuß von H_2SO_4 aufgeschlossen.

Zinn ist als Cassiterit in den granitischen Gesteinen wohl nicht gerade selten. Die schwere Angreifbarkeit durch Säuren macht die chemische Isolierung leicht. Man unterscheidet Zinnstein von Rutil und Zirkon durch die rubinrote Färbung, die eine Kupferperle annimmt, wenn man die Probe in der Reduktionsflamme damit zusammenschmilzt. Es genügen winzigste Pröbchen, wenn man die Perle nicht zu groß nimmt. — In Lösungen von $SnCl_4$ fällt nach Haushofer (1885) Chlorcaesium farblose Oktaëder von Cs_2SnCl_6 [3]). Chlorkalium gibt die gleiche Reaktion. Ist das Zinn als $SnCl_2$ vorhanden, so entstehen bei Zusatz von KCl zunächst achtstrahlige

[1]) T. B. Osborne, Amer. Journ. **30.** 1885. 335; P. J. Holmquist, G. F. Stockh. Förhdl. **15.** 1893. 592.

[2]) Bull. Soc. Min. Fr. **5.** 1882. 136—140.

[3]) s. auch A. Streng, N. J. 1888. II. 142—146.

doppelbrechende Sterne, bei weiterer Verdunstung scharfe und oft flächenreiche, meist nach der Fläche (100) flache prismatische Kristalle von starker Doppelbrechung. Siehe auch die Gaubert-Lévyschen Farbreaktionen auf S. 747.

Wolfram. Man schmilzt nach Haushofer (1884 und 1885) ein kleines Pröbchen mit Kaliumnitrat in einem nicht zu dünnwandigen Glaskölbchen oder auf einem Porzellanscherben oder in der Platinschlinge zusammen, löst in Wasser und bringt die Lösung von Kaliumwolframiat auf einen Objektträger. Nach ausreichender Verdünnung entstehen bei Zusatz von Chlorcalciumlösung sehr kleine, erst bei 500facher Vergrößerung deutlich erkennbare, würfelähnliche, meistens etwas gerundete Kriställchen, quadratische Tafeln und beiderseits zugespitzte Säulchen von Calciumwolframiat. Um sicher zu sein, dass die Kristalle und keine kugeligen Aggregate entstehen, nimmt man die Fällung in der Siedehitze vor. — Thalliumsulfat fällt aus den alkalischen Lösungen die Wolframsäure in Form ziemlich großer hexagonaler Täfelchen von Tl_2WoO_4; doch gibt Molybdän die gleiche Reaktion.

Tantal und Niob. Man schließt nach Haushofer (1885)[1]) die natürlichen Niobate und Tantalate mit Soda am Pladindraht oder besser mit Ätznatron im Silbertiegel auf. Die Sodaperle habe etwa Stecknadelkopfgrösse. Die Zersetzung pflegt rasch unter einigem Aufbrausen vor sich zu gehen, und man tut gut, die Perle $^1/_2$—$^3/_4$ Minuten in der Glühhitze zu lassen. Die Perle wird in einem Tropfen Wasser auf das Objektglas gelegt und löst sich in einigen Minuten unter Hinterlassung eines unbestimmten kristallinischen Rückstandes. Mit fortschreitender Verdunstung des Wassers scheiden sich feine farblose Prismen des tantalsauren und niobsauren Natrons in einzelnen Kristallen und büschelförmigen oder sternförmigen Gruppen aus. Die Säulchen zeigen gerade Auslöschung. Bei reichlicher Anwesenheit von Tantalsäure und aus sehr verdünnter Lösung bilden sich ferner hexagonale dünne Tafeln von $4Na_2O.\ 3Ta_2O_5 + 25$ aq, aus deren Mitte bisweilen büschelförmige Aggregate herauswachsen. Die hexagonalen Tafeln sind von den durch die gleiche Reaktion entstehenden Zirkonerdekristallen dadurch zu unterscheiden, daß sie erst in der Lösung wachsen, während die Zirkonblättchen schon in der Perle sich bilden. Die obere Hälfte von Fig. 669 bei *a b c* entspricht etwa den Kristallisationen des Niobs, die untere Hälfte bei *d* und *e* denen des Tantals; indessen gehen die Formen vielfach ineinander über. Eine andere charakteristische und einfache Reaktion auf Niob- und Tantalsäure ist die folgende: Beim Kochen mit konzentrierter Schwefelsäure werden die Niobate und Tantalate teils ganz, teils so weit zersetzt, daß ein Teil der Säuren in Lösung geht. Gießt man die Lösung vom Rückstand ab, verdünnt mit Wasser und fügt Zinkstaub hinzu, so

[1]) s. auch Haushofer 1883, 1892 und S. M. A. **19.** 1889, 3—8.

nimmt sie nach Haushofer (1892) bei vorwiegendem Niobsäuregehalt sogleich oder nach einigen Minuten eine lebhaft sapphirblaue Farbe an, die allmählich durch olivengrüne Töne ins Tintige oder Violette übergeht und endlich unter Absatz eines feinen weißen Pulvers verbleicht; vorwiegende Tantalsäure bringt nur eine schwach violettgraue, bald wieder verbleichende Färbung hervor. Es empfiehlt sich, auf 20 mg des feinen Mineralpulvers 0,7—0,8 ccm konzentrierte Schwefelsäure anzuwenden, die Lösung auf 2—3 ccm zu verdünnen und Zinkstaub etwa vom Volumen einer Erbse zuzusetzen. Bei Polykras und Äschynit wird die Lösung nach Haushofers Versuchen zuerst violett und geht dann in tiefes Sapphirblau über.

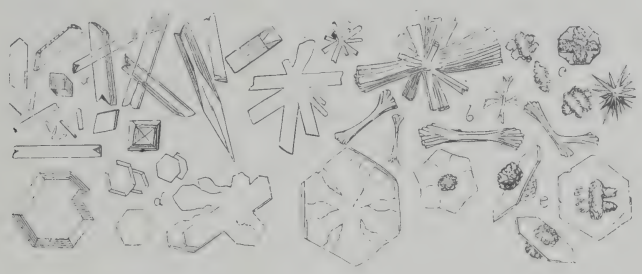


Fig. 669.

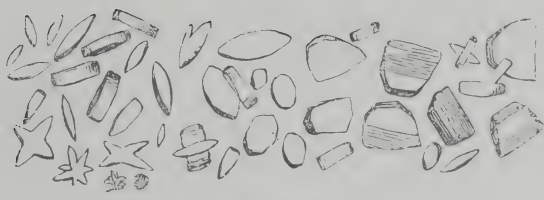


Fig. 670.

Vanadin. Man schmilzt nach Haushofer (1885) die Probe (2—3 mg) in der Platinschlinge mit der 10—15fachen Menge Kaliumnitrat, dem etwas Soda zugesetzt werden kann, in starker Hitze rasch zusammen, laugt die Schmelze mit einigen Tropfen Wasser aus, bringt einen Tropfen der Lösung auf das Objektglas und legt ein Körnchen Salmiak hinein. Bei der Auflösung bilden sich bald, zumal am Rande des Tropfens, viele kleine wetzsteinförmige und größere, elliptisch umgrenzte, oder keilförmige, stark doppelbrechende Kriställchen (Fig. 670) von Ammoniummetavanadinat.

Auch quantitative Bestimmungen sind mikrochemisch mit Erfolg durchgeführt worden, worüber die auf S. 742—744 angegebene Literatur in den neueren Werken vieles enthält.

Sechster Teil.

Morphologisches.

Erste Abteilung.

Bildung der Kristalle.

206. Vorgang bei dem Wachstum der Kristalle. Wenn in einer wässerigen oder schmelzflüssigen oder gasförmigen Lösung Zustände der Übersättigung eintreten, so kann, bei hinreichender Beweglichkeit der zum Kristall zusammentretenden Moleküle und ausreichender Beständigkeit der für die Ausscheidung und gesetzmäßige Gruppierung günstigen Verhältnisse, die Entwicklung von Kristallen beginnen, deren Zahl von der Menge der sich entwickelnden Kristallisationszentren, und deren Größe von der Quantität des dem wachsenden Kristall zuströmenden Stoffes abhängt.

Jeder wachsende Kristall wirkt auf die ihm gleichartigen, innerhalb seiner Molekularattraktionsphäre in der Lösung (Mutterlauge) befindlichen Moleküle richtend und anziehend. Dadurch entsteht um jeden wachsenden Kristall ein stoffärmerer Lösungsmantel (Kristallisationshof, Taf. IX Fig. 5), dem durch Diffusion aus der übersättigten Mutterlauge stets kristallisierbare Moleküle zugeführt, und durch stetes Anschießen dieser Moleküle an den Kristall wieder entzogen werden. So lange dieser Vorgang normal verläuft, ist der wachsende Kristall in jedem Stadium seines Wachstums von ebenen Flächen begrenzt und entspricht also den idealen Anforderungen an die morphologische Ausbildung eines Kristalls. Versetzt man diesen Vorgang in eine schmelzflüssige Lösung und denkt sich, daß der Zustand der Übersättigung mit bezug auf die sich ausscheidende Substanz aufhöre und etwa gleichzeitig durch zunehmende Viskosität der Lösung die Bewegung der Moleküle allmählich gehindert werde, so findet aus der Mutterlauge in einem gewissen Zeitpunkt keine Diffusion der kristallisierbaren Verbindung in den Kristallisationshof mehr statt, während doch in unmittelbarer Umgebung des Kristalls durch den Übergang der anschiessenden Moleküle in den Ruhezustand so viel Wärme frei wird, dass eine fernere Anlagerung kristallisierbarer Moleküle aus dem Kristallisationshof erfolgen kann. Nach gänzlichem Aufhören der Kristallisation ist alsdann der Kristallisationshof merklich ärmer an der kristallisierbaren Verbindung, als die Mutterlauge. War die erstere geeignet, die Mutterlauge zu pigmentieren, so ist nach Verfestigung des Ganzen der Kristall von einem, gegenüber der Mutterlauge helleren Hof umgeben. Man beobachtet diese Höfe oft in porphyrischen Gesteinen, und Taf. IX Fig. 4 läßt sie um Augite im Obsidian von Hammarsfjord sehen. Die künstliche Darstellung dieser entfärbten Höfe hat besonders O. Lehmann [1]) gezeigt.

[1]) Wied. Ann. Phys. **51.** 1894. 52.

Liegen die Kristallisationszentren in hinreichender Entfernung voneinander und endet der Kristallisationsprozeß, solange noch Mutterlauge vorhanden ist, so werden die Umgrenzungen der gebildeten Kristalle wesentlich durch ihr eigenes Formengesetz bedingt. Die Kristalle sind idiomorph (ἴδιος = eigen, μορφή = Gestalt). Wird eine oder die andere, oder werden beide Bedingungen nicht erfüllt, so wird die Ausbildung jedes einzelnen Individuums durch die nächstgelegenen gehemmt und gestört, und es entsteht ein mehr oder weniger regelloses kristallines Aggregat, dessen Einzelindividuen hypidiomorph (ὑπέρ = jenseits) oder ganz allotriomorph (ἀλλότριος = fremd) sind.

Fig. 671.

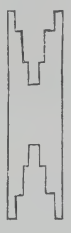


Fig. 672.

Ist die Stoffzufuhr durch den Diffusionsstrom in den Kristallisationshof sehr reichlich und beschleunigt, so wachsen gewisse Teile des Kristalls, und zwar diejenigen, denen ein größerer Teil des Kristallisationshofes tributär ist, rascher als andere Teile. O. Lehmann machte mit Recht darauf aufmerksam [1]), daß bei dem Wachstum die Kanten und Ecken eines Kristalls gegenüber gleich großen Flächenteilen bevorzugt seien. Fig. 671, worin *ab, bc, cd, de, ef* usw. gleich große Flächenteile eines wachsenden Kristalls, *A, B, C* usw. die jedem Flächenteil zugehörigen Teile des Kristallisationshofes darstellen, soll dies veranschaulichen. Hört das Wachstum des Kristalls während der Periode des Wucherns der Ecken und Kanten auf, so ist ihr Umriß, wie Fig. 672 zeigt, ein ruinenartiger, zackiger oder treppenförmiger usw., aber jedes Begrenzungselement ist jedem gleichwertigen andern Begrenzungselemente parallel. Derartige Bildungen sind bei Feldspäten, Augiten, Hornblenden, Olivinen usw. eruptiver porphyrischer Gesteine ziemlich häufige Erscheinungen. Taf. IX Fig. 1 zeigt eine Übergangsform von Kristall zu Kristallskelett am Olivin im Basalt von Palma, Taf. IX Figuren 2 und 3 stellen typische Kristallskelette am Magneteisen und Augit in Basalten von China und Arran dar.

Ob die Wachstumsachsen eines derartigen Skeletts den Kristallachsen der Substanz, oder den sog. Zwischenachsen, oder endlich irgend welchen andern kristallographischen Richtungen entsprechen, das hängt

[1]) Z. X. **1.** 1877. 462.

wesentlich von der speziellen Kristallform und Ausbildung der zuerst ausgeschiedenen Individuen ab. Durch spätere, bei langsamerem Wachstum eintretende Ausfüllung der Zwischenräume eines solchen Skeletts mit homogener Kristallsubstanz kommen mehr oder weniger dem einheitlich geschlossenen Kristall genäherte Wachstumsformen oder vollkommen normal ausgebildete Kristalle zustande.

Das ungestörte Wachstum eines Kristalls unter den angegebenen Bedingungen erkennt man bei mikroskopischer Beobachtung nur an seiner Volumzunahme; unmöglich ist es, die Art und Weise des Wachsens selbst, den Zutritt und die Anlagerung der Moleküle an den Kristall wahrzunehmen, hierzu reicht das Auflösungsvermögen oder die penetrierende Kraft auch der besten Mikroskope bei weitem nicht aus (s. § 100, S. 336).

207. Einfache Kristalle im Dünnschliff. Die außerordentliche Wichtigkeit der morphologischen Eigenschaften für die makroskopische Bestimmung der Mineralien verringert sich in höchst mißliebiger Weise bei ihrer Untersuchung unter dem Mikroskop. Nur in gewissen Fällen, nämlich an isoliertem Material, bei sehr kleinen als Gesteinsgemengteile auftretenden Kristallen und bei den sog. individualisierten Interpositionen erblickt man unter dem Mikroskop Kristallkörper; sonst hat man es ausnahmslos nur mit Kristalldurchschnitten zu tun, d. h. mit Horizontalprojektionen eines Kristallkörpers auf irgendeine Fläche im Raum, die in keinerlei gesetzmäßiger Beziehung zum projizierten Kristall selbst steht. Man erkennt daraus sofort, daß bei der unendlichen Anzahl von Möglichkeiten für die Schnittebene weder die Umrisse des Durchschnitts, noch deren Winkelverhältnisse von irgendwelchem absoluten Wert für die Bestimmung des vorliegenden Kristalls sein können.

Sobald allerdings die Richtung bekannt wäre, in welcher der Schliff einen Kristall getroffen hat, würde auch die Berechnung der Projektionsform und ihrer Winkel nicht schwierig sein; aber es fehlt eben in vielen Fällen ein sicherer Anhalt für die genaue Bestimmung dieser Richtung. — Wo man vermittelst der optischen Erscheinungen die Lage der optischen Konstanten in einem Kristalldurchschnitt zu erkennen vermag, kann man allerdings oft durch eine geschickte Kombination dieser mit den Durchschnittsumrissen und andern Eigenschaften, wie Verlauf der Spaltungsrichtungen, einen mehr oder weniger sicheren Schluß ziehen, und diesem kann durch Winkelmessungen am Durchschnitt ein so hoher Grad von Wahrscheinlichkeit gegeben werden, daß er der Gewißheit gleich kommt. Das hierfür einzuschlagende Verfahren hat besonders Alfr. C. Lane[1]) allgemein dargelegt.

Ferner ist nicht zu übersehen, daß die Statistik nicht selten wertvolle Anhaltspunkte gibt (s. auch oben § 6 S. 21—22). Denn wenn

[1]) Bull. geol. Soc. of America. 1891. II. 365.

auch die Möglichkeit unendlich vieler Schnittflächen vorliegt, so ist doch die Wahrscheinlichkeit für alle diese Schnittflächen wesentlich abhängig von der Anordnung der Kristallkörper im Gestein; eine Tatsache, die jeder aufmerksame Beobachter an den häufig auftretenden Mineralien, wie Feldspat, Nephelin, Augit usw. bald bestätigt finden wird. Kombiniert man also nach drei Richtungen im Raume die häufigst auftretenden Durchschnitte, so wird man sich zuweilen die Gestalt des Kristallkörpers vorstellen können.

Findet man z. B. von einem Mineral in überwiegender Anzahl quadratische und sechsseitige, farblose Durchschnitte, so ist der Deutung ein außerordentlich weiter Spielraum geboten. Ergibt nun aber die Untersuchung im polarisierten Licht, daß beiderlei Durchschnitte zwischen gekreuzten Nicols in jeder Lage dunkel bleiben, so wird man sofort mit vollem Recht schließen, daß sie von einem isotropen, also regulären Mineral herrühren müssen, das in der Form des Rhombendodekaëders kristallisiert. Man kann demgemäß an Granat oder an die Hauyngruppe denken.

Zeigen sich dagegen die rechteckigen Durchschnitte [parallel (001)] zwischen gekreuzten Nicols stets dunkel, die hexagonalen [parallel der Hauptachse durch eine Kombination (110) (111)] im allgemeinen hell, so kann man es mit einem quadratisch kristallisierenden Mineral zu tun haben und darf etwa die Skapolithgruppe ins Auge fassen.

Umgekehrt wird man auf ein hexagonal kristallisierendes Mineral schließen, wenn sich die hexagonalen Durchschnitte [parallel (0001)] zwischen gekreuzten Nicols stets dunkel, die rechteckigen [parallel der Hauptachse durch eine Kombination $(10\bar{1}0) . (0001)$] im allgemeinen hell erweisen, und die Vermutung, es handle sich um Nephelin oder Apatit, liegt nahe.

Wenn man endlich findet, daß im allgemeinen sowohl die rechteckigen wie die sechseitigen Durchschnitte zwischen gekreuzten Nicols hell sind, so darf man unter anderm an einen orthoklastischen Feldspat denken, der im einen Fall etwa parallel der Längsfläche, im andern Fall geneigt zur Basis so getroffen ist, daß der Schnitt durch die hinteren und vorderen Prismenflächen geht.

Daß man die Berechtigung dieser Schlüsse durch weitere optische Bestimmungen, durch Winkelmessungen, Vergleichung der Mikrostruktur der fraglichen Durchschnitte mit solchen von bekanntem Material und endlich durch mikrochemische Versuche bei manchen Vorkommnissen über allen Zweifel erheben kann, bedarf wohl kaum der Erwähnung.

208. Zwillinge im Dünnschliff. Die Zwillingsbildung ist an den Mineralien mikroskopisch entweder durch das Auftreten einspringender Winkel an den Umrißlinien oder durch die optische Beobachtung erkennbar. Das Auftreten einspringender Winkel charakterisiert nur einzelne

Arten der Zwillingsbildung und setzt gesetzmäßige Begrenzung des Kristalls voraus; man kann sie also nur in gewissen Fällen wahrnehmen und verhältnismäßig selten zur Deutung von Zwillingsbildungen benutzen. Die Beobachtung im polarisierten Licht gestattet die Erforschung der Zwillingsbildung in allen Fällen, wenn man von den regulär kristallisierten Mineralien und in den übrigen Kristallsystemen von gewissen Zwillingsverwachsungen mit parallelen Achsen absieht. Man darf kühnlich behaupten, daß erst die optische Untersuchung einen tieferen Einblick in das Wesen des Zwillingsbaus und die Erkenntnis und Deutung jener wunderbar komplizierten Zwillingsstöcke, die man nach Tschermaks Vorgang Mimesien (vgl. § 72 S. 215) nennt, ermöglicht hat. Bis zu einem gewissen Grade nähert sich der optischen Methode in dieser Beziehung an Schärfe und Eleganz die auf die Symmetrie der Kohäsionsverhältnisse basierte Methode der Ätzversuche, die gleichfalls mikroskopische Beobachtung erfordert. Beide Methoden stützen sich auf den Satz, daß die Molekularanordnung in einem einheitlichen Kristall, von gewissen mechanischen Phänomenen anormaler Spannung abgesehen, um jeden Massenpunkt dieselbe sein muß, wie um jeden andern, und auf die daraus gezogene Folgerung, daß die durch die Molekularordnung gegebenen und geregelten Kräfte in kristallographisch gleichwertigen Richtungen gleiche und gleichgerichtete sein müssen. Bei den Ätzfiguren studiert man die Größe und Richtung des Widerstandes gegen chemischen Eingriff in den Molekularbau; bei der optischen Methode beobachtet man die Veränderung einer Lichtbewegung während ihres Durchganges durch das Molekularsystem.

Die Gesetze über die Lichtbewegung in anisotropen Medien führten zu dem Ergebnis, daß die Polarisationsfarben dünner Blättchen, abgesehen von dem jeder Spezies eigentümlichen Vermögen der Doppelbrechung und der Dicke der Lamellen, wesentlich von der Lage der optischen Vektoren in den Lamellen gegen die optischen Hauptschnitte der Polarisationsinstrumente abhängen, solange man es mit einheitlich aufgebauten Kristallen zu tun hat. Da dieser einheitliche Aufbau bei Zwillingskristallen nicht vorliegt, so stößt man hier auf abweichende Erscheinungen, die schon in Paragraph 50 besprochen wurden. An einem Beispiel mögen diese wichtigen Verhältnisse noch weiter erörtert werden.

Man spalte aus Gips parallel dem klinodiagonalen Hauptschnitt ein feines, allenthalben gleich dickes Blättchen, das im polarisierten Licht durchaus einfarbig erscheint, und stelle daraus ein rhombisches Täfelchen her (Fig. 673), was mit Hilfe des muscheligen Bruches (s. in Fig. 673 die vertikalen Kanten) und des faserigen Bruches (s. in Fig. 673 die von links oben nach rechts unten geneigten Kanten) leicht gelingt. Der spitze Winkel eines solchen Präparates mißt $66^{\circ}\,9'$. Da nun die optischen Achsen beim Gips im klinodiagonalen Pinakoid liegen, so stellt die Ebene des Blättchens die Ebene der optischen Achsen dar, und kleinster und größter Vektor

liegen in derselben Fläche, während der mittlere Vektor, die kristallographische Orthoachse, in der Sehrichtung sich befindet. Kristallographisch orientiert, entspricht dem muschligen Bruch die Vertikalachse; mit dieser bilden die in Fig. 673 nach oben links austretenden optischen Achsen Winkel von 22° 58′ und 84° 22′ (s. auch Fig. 573 in § 147). Trägt man

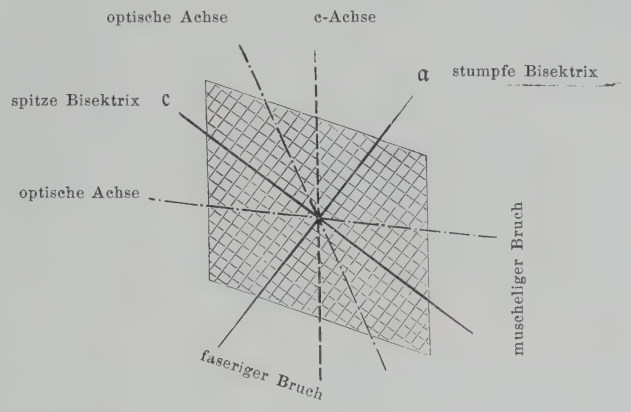


Fig. 673.

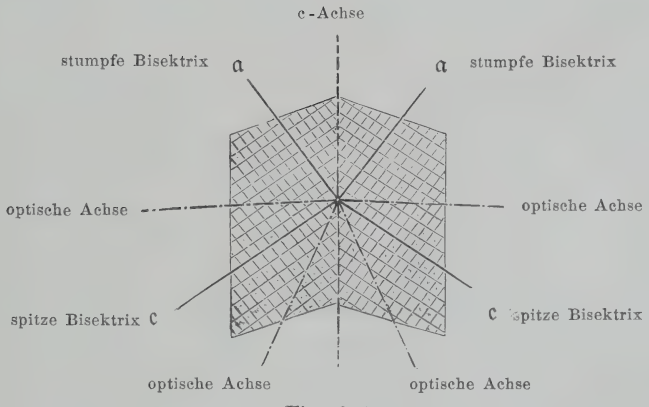


Fig. 674.

diese in die Zeichnung des rhombischen Blättchens ein, so erhält man durch die Halbierungslinien ihres spitzen und stumpfen Winkels die beiden Bisektrizen, die immer senkrecht zueinander stehen. Die spitze Bisektrix bildet mit der Richtung des muscheligen Bruchs also der *c*-Achse einen Winkel von $22^\circ 58' + {}^1/_2 (84^\circ 22' - 22^\circ 58') = 53^\circ 40'$ und demnach mit der Richtung des faserigen Bruchs einen Winkel von $12^\circ 29'$. Dreht man das Blättchen zwischen gekreuzten Nicols, bis die Bisektrizen den Nicolhauptschnitten parallel laufen, so zeigt das Blättchen das Maximum der Dunkelheit. Bei jeder andern Lage dieser Richtungen zueinander erscheint

das Blättchen in einer von seiner Dicke abhängigen Farbe und mit einer von dem Winkel der genannten Richtung abhängigen Intensität (s. § 47). Zeichnet man nun, wie in Fig. 673, parallel den optischen Mittellinien durch parallele Striche (auf beiden Flächen des Papiers) die Lage der Schwingungsebenen der das Blättchen durchlaufenden Wellen ein, durchschneidet Zeichnung und Gipsblättchen parallel der kristallographischen Vertikalachse und dreht die eine Hälfte um 180° um eine in der Ebene des Papiers und der Spaltung liegende Normale auf die Vertikalachse, so hat man das Schema eines Gipszwillings (Fig. 674) in der allgemein bekannten Form [Zwillingsebene (100)] mit Einzeichnung der optischen Konstanten. Man sieht sofort in der Zeichnung an den Strichen die Lage der Schwingungsebenen beider Wellen in den Zwillingshälften und bemerkt, daß in dem Falle, wo die Schwingungsebenen in der einen Blatt- bzw. Zwillingshälfte mit der Schwingungsebene des Polarisators zusammenfallen, dieses nicht zugleich in der andern Hälfte geschehen kann, daß also niemals beide Hälften zugleich dunkel sein können. Ferner sieht man, daß bei gewissen Stellungen des Schemas die Schwingungsebenen in beiden Hälften den gleichen Winkel mit den Schwingungsebenen der Nicols bilden, sobald nämlich diese, auf die Ebene des Papiers bzw. Spaltungsblättchens projiziert, annähernd parallel und senkrecht zur kristallographischen Vertikalachse liegen. In jedem solchen Falle herrscht gleiche Farbenintensität in beiden Zwillingshälften (s. auch Fig. 505, § 120).

Die gleichen Erscheinungen zeigen alle andern Zwillingsdurchschnitte unter dem Mikroskop im polarisierten Licht, vorausgesetzt, daß der Schnitt durch beide Zwillingshälften im gleichen Sinne geführt wird. Bei andern Schnittlagen sind die Polarisationserscheinungen in den beiden Zwillingshälften verschieden. Läge die Schliffebene z. B. zufällig so, daß sie in einer Zwillingshälfte genau normal zu einer optischen Achse wäre (in beiden Hälften kann das ja nicht eintreten), dann würde natürlich diese Hälfte in allen Horizontallagen zwischen gekreuzten Nicols unverändert bleiben, und die Farbenphasen würden nur in der andern Hälfte auftreten.

Wie die Erscheinung an den einzelnen Mineralien bei einfachen und wiederholten Zwillingen auftritt, ist im speziellen Teil besonders bei Feldspat, Kalkspat, Augit und Hornblende ausführlich beschrieben.

209. Gestörte Kristallisation. In einer dem Wesen nach wohl gleichen, aber der Erscheinung nach sehr verschiedenen Form vollzieht sich das Wachstum der Kristalle, sobald durch irgend einen Vorgang die in Paragraph 206 angegebenen normalen Bildungsbedingungen gestört werden. Diese Störungen können verursacht werden durch zu rasche Verdunstung des Lösungsmittels, durch seine zu große Zähigkeit oder zu schnelle Abkühlung, durch zu starke Adhäsion an den Wandungen (Objektglas und Deckgläschen z. B.) oder an den Flächen der bereits ausgeschiedenen

Kristalle oder durch irgend einen andern Umstand, der die gleichmäßige Beweglichkeit der kristallisierenden Moleküle hindert. Die Erklärung, und zum großen Teil die Nomenklatur der bei solchen gestörten Kristallisationen entstehenden sehr wechselvollen Gebilde, wurde durch die Studien von H. Vogelsang über die Ausscheidung des Schwefels aus einer durch Kanadabalsam verdickten Lösung in Schwefelkohlenstoff angebahnt. Außer den in den folgenden Paragraphen zitierten Arbeiten dieses Forschers sind besonders erwähnenswert seine „Philosophie der Geologie und mikroskopische Gesteinsstudien", Bonn 1867; ferner „Die Kristalliten" (herausgegeben von F. Zirkel), Bonn 1875. Auch die Arbeiten von H. Behrens (Die Kristalliten, Kiel 1874) und die Untersuchungen O. Lehmanns, wie sein Aufsatz: Über das Wachstum der Kristalle[1]) und zahlreiche Stellen in seiner Molekularphysik, 2 Bde., Leipzig 1888/89, haben in ähnlichem Sinne fördernd gewirkt. Viele der Beobachtungen dieser Forscher und manche ihrer Anschauungen finden sich bereits in den Publikationen von M. L. Frankenheim[2]), H. F. Link[3]), P. Harting[4]) u. a.

210. Globulite und ihre Häufungsformen (Cumulite, Margarite, Globosphärite und Longulite). Breitet man nach Vogelsang[5]) eine durch Kanadabalsam verdickte Lösung von Schwefel in Schwefelkohlenstoff auf einem Objektglase aus, so bemerkt man nach kurzer Zeit die Ausscheidung kleinerer und größerer, stark lichtbrechender Kügelchen, die als übersättigte Tropfen der Schwefellösung anzusprechen sind. Diese verlieren durch Verdunstung mehr und mehr das Lösungsmittel und werden schließlich starr. In diesen amorphen, rundlichen Tropfengebilden sah Vogelsang die Elementarkörperchen der Kristalle und nannte sie Globulite (Taf. IX Figuren 5 und 6, Taf. X Fig. 1). Daß diese Globulite, die anfangs nur Tropfen übersättigter Lösung sind, zuletzt zu starren Kugeln werden, woran mehrfach gezweifelt worden ist, davon hat sich Vogelsang durch Zerdrücken und Zerbrechen derselben mit einer feinen Nadelspitze überzeugen können[6]). Trocknet die Lösung bei oder gleich nach der Ausscheidung der Globulite ein, so lassen diese keine weitere Veränderung wahrnehmen. Bewahrt dagegen die Lösung noch längere Zeit eine hinreichende Beweglichkeit, so treten Strömungen ein, durch welche die Globulite ihren Ort ändern und bald zu ganz regellosen Haufen, Cumuliten, bald zu mehr oder weniger regelmäßigen Gebilden zusammengeführt werden. Sie ordnen sich dann bisweilen zu perlschnurartigen Reihen, wie in Taf. IX Fig. 6, die Vogelsang als Margarite

[1]) Z. X. **1.** 1877. 453—496.
[2]) Pogg. Ann. **111.** 1860. 1—60.
[3]) Über die Bildung der festen Körper. Berlin 1841.
[4]) Siehe oben Seite 742.
[5]) Archives Néerlandaises **5.** 1870. 156—192; **6.** 1871. 223—244; **7.** 1872. 38—89. 385—442.
[6]) Arch. Néerl. **6.** 1871. 1.

(Taf. X Fig. 2) bezeichnete; auch zeigen die Globulite in ihren Anhäufungen zuweilen eine radiale Anordnung, die man Globosphärite nennt.

Die Globulite zeigen ferner in der noch beweglichen Lösung eine Volumzunahme durch Verschmelzung mit anderen, die ihnen zugeführt werden (Taf. IX Fig. 6). Solange der Widerstand des Lösungsmittels nicht zu groß wird, nimmt der gewachsene Globulit stets wieder die Kugelform an; andernfalls entstehen durch diese Globulitenverschmelzung zylindrische, zapfenförmige oder spitz konische, krummflächig begrenzte Formen, die als Longulite zusammengefaßt werden (Taf. IX Fig. 6), und die, den Globuliten morphologisch gleichwertig, auch mit diesen zu den komplexen Gebilden der Margarite und axial geordneten Häufchen zusammentreten. Den Globuliten und Longuliten, sowie den mannigfachen Aggregationen dieser untereinander werden nicht die Eigenschaften der Kristalle zugeschrieben; Vogelsang nannte sie mit einem Sammelnamen Kristallite und fand sie bei seinen Versuchen mit Schwefel einfachbrechend, solange ihre Elemente die Globulitenform bewahrten, und also auch die komplexeren Formen nicht über das Stadium eines Globulitenaggregates hinausgingen.

Bei hinreichender Beweglichkeit der Lösung, oder wie Vogelsang sich ausdrückte, „wenn die innere Molekularbewegung in den Globuliten den äußeren Widerstand des Kanadabalsams noch genügend überwinden kann", erstarren die übersättigten Tropfen, und die Globulite nehmen im Augenblick der Erstarrung nicht die Form der Kugel sondern der rhombischen Schwefelpyramide an. Ganz besonders beobachtet man diese Umwandlung, wenn die Globulite, zufolge der in der Lösung herrschenden Strömungen, an normal gewachsene Schwefelkristalle oder Wachstumsformen herantreiben, mit denen sie zu mehrachsigen Kristallskeletten verwachsen. Mit dem Verlust der Globulitenform und der Annahme geradflächiger Begrenzung ist regelmäßig das Auftreten der Doppelbrechung verbunden. Vogelsang, der für die Fixierung des Kristallbegriffes in erster Linie die regelmäßige polyëdrische Form betont, unterscheidet also die Kristallitenbildung und die Kristallbildung als zwei verschiedene Arten des Kristallisationsprozesses, die durch allmähliche Übergänge verbunden sind. Ob der eine oder der andere Vorgang sich in einer Lösung vollzieht, das ist nach seiner Auffassung abhängig von dem Verhältnis der molekularen Widerstandskräfte in der Lösung und der inneren Molekularbewegung in den Globuliten. Die Bildung der Globulite ist ihm aber die Vorbedingung für die Entstehung von Kristallen. Mitten zwischen beiden würden dann die so ungeheuer mannigfachen, oft viel verzweigten Wachstumsformen, nicht aber die Kristallskelette stehen, die schon zu den eigentlichen Kristallen gehören, und die auch, wenn sonst ihre Symmetrieverhältnisse es gestatten, Doppelbrechung zeigen.

In den theoretischen Erörterungen, mit denen Vogelsang seine Beobachtungen begleitet, versucht er nicht eigentlich eine Erklärung für

die Bildung der Globulite zu geben, sondern leitet nur die Bewegung und Anordnung der fertigen Globulite, ebenso wie ihre etwaige Umformung zu integrierenden Teilen eines echten Kristalls von einer ihnen innewohnenden Molekularbewegung (Kristallisationskraft) ab, die sie befähigt, sich anzuziehen und sich regelmäßig zu gruppieren. — O. Lehmann glaubt die Globulitenbildung durch die eigentümlichen, mit der Temperatur und dem Mengenverhältnis der angewandten Stoffe variabeln Gleichgewichtszustände erklären zu können, die sich beim Mischen mehrerer Substanzen herstellen, und verweist auf die in einem Gemenge von Alkohol, Wasser und Öl je nach dem Mengenverhältnis dieser Stoffe eintretenden Zustände. Bei ein und derselben Temperatur sind nach dem prozentischen Verhältnis zwei Gleichgewichtszustände möglich, entweder Alkohol mit Öl und wenig Wasser, oder Wasser mit Alkohol und wenig Öl. Besitzt das Gemenge weder die Zusammensetzung der einen noch der andern Mischung, so tritt durch Zerfall des Gemenges in Mischungen der einen und der andern Art, Schichtenbildung, Tröpfchenausscheidung, Globulitenbildung ein. Im Anfang wären demnach die Globulite nicht einmal übersättigte Lösung, sondern sie würden dieses erst allmählich durch Verdunstung des Gemenges. Die Globulitenbewegung und ihre regellose Aggregation wird alsdann auf Strömungen zurückgeführt, die infolge kapillarer Ausbreitung, oberflächlicher Verdunstung, kapillarer Attraktion auf der Oberfläche schwimmender Globulite und endlich Brownscher Molekularbewegung (s. § 219) entstehen. Auf diese Weise erklären sich die losen Globulitenaggregate, also das, was Vogelsang im eigentlichsten Sinne Kristallite nennt.

Wenn dagegen die Globulite durch die erwähnten Strömungen in den Bereich eines wachsenden Kristalls, in dessen Kristallisationshof geraten, so werden sie von diesem gerichtet, sie kristallisieren und hören damit auf, Globulite zu sein. Ob durch ihr Herantreten an den Kristall dieser in ebenmäßiger Weise sich als kompakter Kristall oder als Kristallskelett vergrößert, oder ob er sich zu einem Gebilde entwickelt, das man allgemein als Wachstumsform zu bezeichnen pflegt, das hängt von den Kristallisationsbedingungen ab, die in Paragraph 206 erwähnt wurden.

Die Versuche von H. Vogelsang und seinen Nachfolgern haben es ermöglicht, die den künstlichen Darstellungen überaus nahe verwandten Erscheinungen in den Gesteinen zu verstehen und zu erklären. Es sind natürlich die nicht zu holokristalliner Entwicklung gelangten, mehr oder weniger basisreichen [1]), porphyrischen Ergußsteine, in denen solche Produkte unvollkommener Kristallisation, hauptsächlich wohl infolge zu großer Viskosität der Magmen, zu erwarten sind. Sie finden ihre Analoga in

[1]) Unter Basis — das Wort wurde von F. Zirkel in die Petrographie eingeführt — ist hier ein amorph (glasig) erstarrter Kristallisationsrückstand des Gesteins verstanden.

künstlichen Schlacken und Gläsern, wie solche besonders von Leydolt[1]) studiert worden sind.

Die Globulite (Taf. X Fig. 1), die in den kieselsäurearmen Gesteinen gewöhnlich sehr tief gefärbt oder undurchsichtig, in den kieselsäurereichen in der Regel hell und durchsichtig erscheinen, treten auch hier bald in gleichmäßiger Verteilung, bald zu Margariten (Taf. X Fig. 2) aneinander gereiht, auf. Statt der rundlichen oder scheibenförmigen Globulite, oder neben ihnen, trifft man zuweilen Longulite; und das genauere Studium mancher Obsidiane und Vitrophyre läßt in unbegrenzter Mannigfaltigkeit alle denkbaren Zwischenformen zwischen den losen, perlschnurartigen Margariten und Kristallnadeln wahrnehmen. Besonders häufig treten solche Formen auf, bei denen die eine Längsseite vollkommen geradlinig ist, während die andere einen gekerbten Verlauf nimmt. Die winzigen Einschnürungen auf dieser Seite deuten den Aufbau aus den unvollkommen verschmolzenen Globuliten deutlich an.

Die Anhäufung der Globulite zu regellos geballten Massen, die Vogelsang wie gesagt als Cumulite bezeichnet, oder zu mehr oder weniger regelmäßig geordneten Gruppen, die dann Margarite oder Globosphärite genannt werden, ist vorwiegend, wenn nicht ausschließlich, auf die saursten Silikatgesteine (Quarzporphyre und Liparite) beschränkt. Zumal die Vitrophyre der Gegend von Meißen und die Liparite aus der Umgebung von Schemnitz liefern ein vorzügliches Untersuchungsmaterial. Weniger deutlich tritt, wegen der außerordentlich winzigen Dimensionen dieser Gebilde, die radiale Anordnung der einzelnen Globulite in den Cumuliten hervor, wodurch die Globosphärite sich von den Cumuliten unterscheiden. Derartige Globosphärite, in denen also die Globulite sich zu radialgestellten Reihen ordnen, erhält man auch bei den Fundamentalversuchen Vogelsangs nicht selten. Da bei solchen Globosphäriten die Dichte stetig vom Zentrum nach der Peripherie hin abnimmt, so bewirken sie in gewissen Fällen Interferenzerscheinungen im polarisierten Licht, die denjenigen der Sphärolithe, über die in § 229 näheres berichtet wird, ähnlich sind.

Beispiele axialer Anordnung von Globuliten, also von sog. Longuliten, sind aus den Gesteinen wohl kaum bekannt. Überaus mannigfaltig sind die Wachstumsformen, bei denen man nicht entscheiden kann, ob sie sich aus Elementarkörperchen (Globuliten) aufbauen, oder ob sie schon zu den Kristallskeletten, also den lückenhaft gewachsenen eigentlichen Kristallen, gehören. — Eine weiter gehende Gliederung der Globulite usw. hat F. Rutley versucht, auf dessen Arbeit hier verwiesen werden möge[2]).

---

[1]) S. W. A. **8.** 1852. 261—274.

[2]) Min. Mag. **9.** 1891. 261—271; s. auch H. Vater, Das Wesen der Kristalliten, Z. X. **27.** 1897. 505—512; ferner W. Barlow in Geometrische Untersuchung über eine mechanische Ursache der Homogenität der Struktur usw., Z. X. **29.** 1898. 471 ff.

211. Als Trichite (*θρίξ* = Haar) bezeichnet man nach dem Vorgang Zirkels haarförmige Kristalle von einer ihrem Querschnitt gegenüber sehr starken Längenentwicklung, die mehr oder weniger nach einer oder mehreren Richtungen gewunden, auch wohl schlingenartig umgebogen oder mehrfach geknickt sind. Die Trichite zeigen eine große Neigung, sich zu vielarmigen, von einem Zentrum ausstrahlenden Gruppen zu vereinigen (Taf. X Fig. 3). Als Ansatzpunkt für solche Gruppen dient oft ein in der Lösung vorhandenes Kristallkorn. Wegen ihrer sehr geringen Breite werden die Trichite selbst bei starken Vergrößerungen meistens nicht durchsichtig. Daß dieser Mangel an Transparenz hauptsächlich in der Form, nämlich in dem rundlichen Querschnitt mit sehr kleinem Radius und dadurch bedingter totaler Reflexion, begründet ist, schließt man daraus, daß bei etwas größerer Dicke die Trichitenarme tatsächlich öfters durchsichtig werden. Immerhin scheinen in den sauren Gesteinsgläsern, die mit Vorliebe Trichite führen, diese vorwiegend aus stark farbigen Verbindungen (eisenreichen Silikaten usw.) zu bestehen. — Nicht selten lassen die gebogenen Trichite bei hinreichender Vergrößerung sich als aus mehreren geradlinigen Gliedern zusammengesetzt erkennen.

O. Lehmann, der vielfach die Trichitenbildung bei der Kristallisation organischer Verbindungen beobachtete[1]), fand, daß die gebogenen Trichite bei fernerem Wachstum, zumal in die Dicke, sich plötzlich und oft mit solcher Gewalt gerade strecken, daß sie dabei in Stücke zerspringen. Die Bildung trichitischer Kristalle erklärt Lehmann sinnreich dadurch, daß die Spitze eines wachsenden Kristalls den Kristallisationshof, etwa infolge einer Strömung in der übersättigten Mutterlauge, durchbricht, und daß dem Kristall nun in der übersättigten Mutterlauge und durch die Strömung so viel Stoff zugeführt wird, daß er sich sehr rasch in die Länge vergrößert, während die an seinen Seiten herabfließende, der kristallisierten Verbindung beraubte Lösung jedes Wachstum in die Dicke unmöglich macht. Die Krümmung der wachsenden Nadel ist bei der großen Biegsamkeit derartiger Gebilde durch die Strömung zu erklären, in der sie wächst, und würde eintretenden Falles durch Vorhandensein einer Schiefendfläche bedeutend erleichtert werden.

Durch Gruppierung von Margariten um ein gemeinschaftliches Zentrum können sehr trichitenähnliche Formen entstehen; der Unterschied gegenüber den echten Trichiten liegt in dem deutlichen Aufbau jedes Haares aus lose gereihten Globuliten. Übergangsformen, die schwer der einen oder andern Abteilung mit Sicherheit zugeordnet werden können, entstehen durch mehr oder weniger vollkommen longulitische Verschmelzung der Globulite.

Daß auch Sprünge in einer mehr oder weniger glasigen Gesteinsmasse mit Trichiten verwechselt werden können, sei beiläufig erwähnt.

[1]) Vgl. außer den S. 762 und 769 erwähnten Arbeiten von demselben Verfasser: Z. X. **5**. 1881. 472—476. Z. X. **8**. 1884. 451—453.

212. Als Mikrolithe (μικρός = klein, λίθος = Stein) sollen, ohne Rücksicht auf den Habitus der Kristallform und auf das optische Verhalten, solche vollkommen oder doch annähernd vollkommen einheitlich begrenzten Kristalle bezeichnet werden, die nur mikroskopisch direkt wahrnehmbar sind und ihrer Art nach nicht mit voller Sicherheit bestimmt werden können. Sind sie ihrer Art nach definierbar, so wird man sie mit dem Speziesnamen benennen und diesem einen den Habitus bezeichnenden Ausdruck anfügen, z. B. Plagioklasleistchen, Augitsäulchen, Glimmerblättchen, Perowskitoktaëderchen usw. E. Cohen[1]) gebrauchte die Bezeichnung Mikrolith für alle bestimmbaren oder nicht bestimmbaren Kriställchen von so kleinen Dimensionen, daß sie in einem normalen Dünnschliff als Körper vorhanden sind. F. Zirkel[2]) hält an der ursprünglichen Definition H. Vogelsangs[3]) fest, wonach den Mikrolithen die Nadelform zukommen soll. Da ein und dieselbe Mikrolithenart je nach der Projektion, in der man die kleinen Individuen sieht, in Form von Blättchen, Säulchen, Körnchen usw. erscheinen kann, so empfiehlt sich eine Benennung nach dem Habitus nur für den Fall, daß man aus den verschiedenen Erscheinungsformen die eigentliche Körperform sicher abzuleiten vermag. So hat z. B. Zirkel die nadelförmigen Mikrolithe als Belonite[4]), Schrauf tafelförmige als Mikroplakite usw. bezeichnet. — Die Mikrolithe sind danach echte Kristalle und dokumentieren sich als solche durch ihre Form; ob sie das ihrer Symmetrie entsprechende physikalische Verhalten (etwa gegen Licht) wahrnehmen lassen oder nicht, das hängt von ihrer Durchsichtigkeit, der Differenz ihrer optischen Vektoren und ihren Dimensionen ab und kann für die Begriffsfixierung nicht in Betracht kommen. In Taf. X Fig. 4 sind neben Trichiten auch echte Mikrolithe zu sehen.

213. Schaliger Bau. Zonare Struktur. Die dem Wesen des Kristalls eigentümliche Stetigkeit der Raumerfüllung wird in der Natur selten angetroffen. Dadurch, daß das Wachstum eines Kristalls aus seiner Lösung nicht immer ein einheitlich und ohne Pause verlaufender Akt ist, sondern von kürzeren und längeren Intervallen des Wachstumstillstandes unterbrochen wird, entwickelt sich ein schaliger Bau, der in den Kristalldurchschnitten die Erscheinung der zonaren Struktur hervorruft. In besonderer Schönheit zeigen oft die mikroskopischen Zirkone in den verschiedensten Gesteinen, sowie die Feldspäte, zumal der Trachyte und Andesite, die Nepheline und Leucite der basischeren Laven (Taf. X Fig. 5), diesen Aufbau in konzentrischen Schalen von solcher Zartheit, daß ihre Durchschnitte den Eindruck machen, als blicke man in einen polygonalen, sich sehr allmählich verjüngenden Trichter. Sehr

[1]) N. J. 1881. I. 95.
[2]) Lehrbuch 1893. I. 148—151.
[3]) Philosophie d. Geol. 1867. 139.
[4]) Z. D. G. G. 1867. 737.

häufig liegen auf den Grenzen der Schalen fremde Körper (die in der nächsten Abteilung Paragraph 215—226 als Einschlüsse ihre Besprechung finden werden) und bringen die zonare Struktur zu deutlicherem Ausdruck; oft aber fehlt, selbst bei stärkster Vergrößerung, jede fremde Substanz zwischen den Schalen, und der zonare Bau tritt nur hervor, weil die aufeinander folgenden Schalen verschiedene chemische Zusammensetzung haben und sich infolgedessen optisch verschieden verhalten. Dieser spezielle Fall des Schalenbaus, den Tschermak sehr bezeichnend mit dem Namen isomorphe Schichtung belegt hat, findet sich besonders häufig bei Granat, Turmalin, Augit, Hornblende, Glimmer, Feldspat und anderen Mineralien, die sich aus isomorphen Mischungen mehrerer Moleküle aufbauen. Sind die isomorph geschichteten Verbindungen farbig, so erkennt man die abweichende Zusammensetzung nicht selten an der Verschiedenheit der Farbe der einzelnen Zonen, wie dies Taf. X Fig. 6 und Taf. XI Fig. 1 am Melanit und basaltischen Augit erkennen lassen.

Die Form der einzelnen Schalen hängt von der Wachstumsweise der Kristalle ab. Je nachdem das Wachstum nach einer den Raum allseitig umschließenden Kristallform (Pyramide), nach einer einseitig offenen Form (Prisma usw.), oder nur nach einem Flächenpaar fortschreitet, erscheint im Durchschnitt die zonare Struktur in konzentrisch geschlossenen Polygonen oder in parallelen Liniensystemen. Im allgemeinen pflegt die Wachstumsweise bei ein und demselben Mineral in einem Gesteine konstant zu sein; doch findet man auch wohl mehrere Wachstumsrichtungen nebeneinander ausgebildet, so z. B. bei dunkelm Glimmer teils nach der Hauptspaltfläche, teils nach den Seitenflächen.

Die Linien der zonaren Struktur sind in der Regel den Umrissen der Kristalle parallel; man kann daher die äußere Kristallform, wenn sie durch Wiederauflösungsprozesse zerstört wurde, mit einiger Wahrscheinlichkeit aus der zonaren Struktur ableiten. Jedoch fehlt es auch nicht an Fällen, in denen dieser Parallelismus nicht vorhanden ist, sondern die zonare Struktur zu einer andern Kristallform führt, als die Begrenzung des Individuums erkennen läßt. Das sind Analoga zu den makroskopischen parallelen Verwachsungen von verschieden gestalteten Fluorit- und Calcit-Individuen, und sie erklären sich, wie diese, aus Veränderungen physikalischer oder chemischer Natur, die zwischen den beiden Wachstumsabschnitten der Lösung eintraten.

Da das optische Verhalten einer Substanz, von Druck und Temperatur abgesehen, eine Funktion ihrer molekularen Zusammensetzung ist, so begreift man, daß in den einzelnen Schalen von Kristallen mit isomorpher Schichtung der Wert und die Lage der optischen Vektoren, sowie das pleochroitische Verhalten ein verschiedenes sein kann. Beispiele hierfür bietet der spezielle Teil dieses Buches in großer Fülle dar.

214. Anwachspyramiden (Anwachskegel). Sanduhrformen. Von dem zonaren Bau sind grundsätzlich verschieden die eigentümlichen Wachs-

tumsformen, die unter dem Namen der Sanduhrformen oder Stundenglasformen beschrieben werden. Sie sind zuerst erwähnt und abgebildet von L. van Werveke[1]) und haben besonders durch F. Becke und seine Schüler eine tiefergehende Untersuchung erfahren. Die Erforschung wurde zuerst von Brögger[2]) bei der Beschreibung des Homilits, Akmits und Ägirins als eine bedeutsame erwähnt, und später von J. Blumrich[3]), sowie von A. Pelikan[4]) in seinem Wesen richtig gedeutet. Danach kommt die Sanduhrstruktur dadurch zustande, daß kristallographisch verschiedene Flächen während des Wachstums des Kristalls chemisch verschiedene Materie zur Ablagerung bringen, und daß diese chemisch verschiedenen Teile wie bei den zonar gebauten Kristallen sich auch optisch verschieden verhalten. Daß diese Verschiedenheit auch auf andere Weise, z. B. an den Ätzfiguren erkannt werden kann, hat Becke in seiner zusammenfassenden Darstellung über den Aufbau der Kristalle aus Anwachskegeln[5]) dargetan. Wie diese Wachstumsform sich in einem Dünnschliff ausnehmen kann, ist aus Taf. XI Fig. 2 zu ersehen, wo die Anwachspyramide bei einem Augitkristall abgebildet ist.

Zweite Abteilung.

Einschlüsse.

215. Art der Einschlüsse. Wenn die in § 213 und 214 besprochenen Erscheinungen zeigen, daß die Kristalle in vielen Fällen der Forderung einer absoluten Homogenität, d. h. der physikalischen und chemischen Gleichwertigkeit aller ihrer Teilchen nicht genügen, so kann man eine andere Gruppe von Erscheinungen als Diskontinuitäten der Kristallsubstanz bezeichnen. Diese beruhen sämtlich darauf, daß der von dem Kristall eingenommene Raum nicht allenthalben von Kristallsubstanz, sondern zum Teil von fremden, der eigentlichen Kristallsubstanz nur mechanisch beigemengten Körpern erfüllt wird. Man faßt alle diese Fremdkörper unter der Bezeichnung Einschlüsse oder Interpositionen zusammen und kann nach H. Rosenbusch den Kristall auch mit dem der Zoologie entlehnten terminus „Wirt“, welcher fremde „Gäste“ beherbergt, bezeichnen. Die Einschlüsse lassen sich, je nachdem sie aus amorpher Substanz irgend welchen Aggregatzustandes, oder aus kristallisierten Körpern bestehen, in nicht individualisierte und individualisierte Einschlüsse trennen. Die ersteren bilden sich dadurch, daß der

[1]) N. J. 1879. 483—484.
[2]) Z. X. **16.** 1890. 155. 307. 327.
[3]) T. M. P. M. **13.** 1892. 239—255.
[4]) T. M. P M. **16.** 1896. 1—64.
[5]) Lotos, N. F. **14.** 1894. 18 S.

wachsende Kristall Teilchen seiner Mutterlauge oder in dieser enthaltene Gase und Flüssigkeiten in sich aufnimmt, die zweiten entstehen durch die Einhüllung präexistierender oder sich zugleich mit dem wachsenden Kristall ausscheidender Kristallisationen in der Mutterlauge. Zu den nicht individualisierten Einschlüssen gehören Gas-, Flüssigkeits- und Glaseinschlüsse, sowie andere feste Massen, die man zuweilen auch als staubige Einlagerungen bezeichnet. Zu den individualisierten Einschlüssen gehören außer wohl charakterisierten Mineralien alle Kristalle, die wegen ihrer winzigen Dimensionen nicht identifiziert werden können und unter dem Sammelnamen der Mikrolithe (s. § 212) gehen.

216. Die Gaseinschlüsse werden in wenig passender Weise wohl auch Gas- und Luftporen genannt. H. Cl. Sorby, der sich zuerst eingehend mit dem wissenschaftlichen Studium dieser Erscheinungen beschäftigte, beschreibt sie unter dem Namen gas and vapour cavities [1]), und nach seinem Vorgange hat sich die deutsche Übersetzung des Namens eingebürgert.

Die Form solcher Gaseinschlüsse ist eine sehr wechselnde, doch walten rundliche und elliptische Gestalten vor, neben denen unregelmäßig verzerrte, schlauchförmige, verästelte und andere Formen auftreten (Taf. XI Fig. 3). Weniger häufig erscheinen sie als gewissermaßen negative Kristallräume, d. h. mit einer polygonalen Umgrenzung, die der Form ihres Wirtes entspricht. Selten treten Gasporen vereinzelt auf, meistens finden sie sich gruppenweise in Reihen und auf Flächen, willkürlichen Richtungen folgend, durch die Mineralsubstanz zerstreut; solche Einschlußreihen und Gruppen stellen sich dann bei schwachen Vergrößerungen als eine wolkige lokale Trübung des Minerals dar.

Gaseinschlüsse können aber auch gewissermaßen sekundär in hydatogenen Kristallen auftreten, wenn ursprüngliche Flüssigkeitseinschlüsse verdunsten, wie dieses zumal bei Mineralien mit sehr vollkommener Spaltung nicht selten der Fall ist; Sorby beobachtete solche sekundären Gaseinschlüsse am künstlichen Alaun. An natürlichen Kristallen zeigt sie das Steinsalz nicht selten und zwar in Form sog. negativer Kristalle von kubischer Form. Als Beispiel für den Einschluß primärer Gasporen kann man ebenfalls das Steinsalz (Knistersalz von Wieliczka) nennen. — Die hohe Lösungsfähigkeit der Schmelzflüsse für Gase ist eine Tatsache; sobald aber Abkühlung und damit verbundene Erstarrung eintritt, werden die gelösten Gase ausgeschieden (daher das „Spratzen“ des Silbers, die poröse Struktur der Laven usw.) und so erklärt sich die Anwesenheit der Gasporen sowohl in glasig erstarrten Flüssen, wie Obsidian (Taf. XI Fig. 3), als auch in pyrogenen Mineralien, wie Nephelin und anderen. Sehr schön zeigen sie die Feldspäte mancher javanischer Augit-Andesite, worin sie oft als negative Kristalle von der Form (010) (001) ($\bar{1}01$) erscheinen.

[1]) Quart. Journ. Geol. Soc. London **14.** 1858. 453–500.

Besitzen die in solchen Poren eingeschlossenen Gase eine gewisse Spannkraft, oder besaßen sie diese zur Zeit ihrer Einschließung, so wird durch den von ihnen ausgeübten Druck eine molekulare Spannung in der festen Substanz erzeugt, die in amorphen Körpern zu Erscheinungen der Doppelbrechung führen kann, wie sie sonst diesen Medien nicht zukommt, wie man sie aber auch (s. § 72) durch Anwendung äußeren Druckes auf Gläser künstlich nachahmt. Ja man beobachtet, daß auch bei kristallinischer Erstarrung des Wirtes eine ähnliche Störung der normalen optischen Eigenschaften durch eingeschlossene Gase entstehen kann. Besonders David Brewster[1]) verdankt die Wissenschaft eine Reihe höchst interessanter Untersuchungen über diese Beziehungen von optischen Anomalien zu eingeschlossenen Gasen.

217. Die Flüssigkeitseinschlüsse treten, ebenso wie die Gaseinschlüsse, meist in zahlreicher Vergesellschaftung auf und sind wie diese oft in Zügen und auf Flächen angeordnet, die bald regellos die Kristalle durchsetzen, bald mehr oder weniger genau kristallographischen Richtungen entsprechen. Die Form der Flüssigkeitseinschlüsse ist eine äußerst wechselnde. Neben den am häufigsten vertretenen runden und ellipsoidischen finden sich zylindrische, keulenförmige, birnförmige, ganz unregelmässige und oft vielverzweigte Gestalten; nicht selten tritt auch bei ihnen die geradflächig polyëdrische Abgrenzung auf, die dann durch Kristallformen ihres Wirtes gegeben wird. So sind die Flüssigkeitseinschlüsse im Steinsalz kubisch (Taf. XI Fig. 5), im Calcit oft rhomboëdrisch, im Quarz dihexaëdrisch usw. Die Dimensionen wechseln in sehr weiten Grenzen, sodaß in demselben Kristall neben mit unbewaffnetem Auge erkennbaren Flüssigkeitseinschlüssen sich solche finden, die man auch bei recht starken Vergrößerungen nur als eine wolkige Trübung der Mineralsubstanz wahrnimmt. Besonders groß sind die Einschlüsse von flüssiger Kohlensäure und Wasser im Rauchquarz von Branchville Conn., die z. T. mit bloßem Auge erkannt werden. Einschlüsse von flüssiger Kohlensäure von 1 mm Ausdehnung, wie sie W. Prinz[2]) in Sapphiren beobachtete, und wie sie die Hamburger Mineralogische Sammlung in einer Topasplatte von Süd-Westafrika besitzt, gehören schon zu den Ausnahmen, und noch seltener mag es vorkommen, daß man, wie Brewster, einen in Sapphir liegenden Hohlraum von $^1/_3$ Zoll Länge antrifft, der zu zwei Drittel mit der bei 28 ° verschwindenden, also sehr reinen flüssigen Kohlensäure gefüllt ist. Nimmt man einen solchen Kristall kurze Zeit in den Mund oder legt ihn in die Achselhöhle und betrachtet ihn dann schnell, so ist die Libelle verschwunden, um nach kurzem wieder aufzutauchen.

Die Flüssigkeiten erfüllen den Raum, in welchem sie sich befinden, bald ganz, bald nur zum Teil, wie dieses Fig. 5 Taf. XI zeigt. Im letzteren

[1]) Edinb. Phil. Journ. **3.** 1820. 98—100. Phil. Mag. **31.** 1847. 101—104; **33.** 1848. 489—493.

[2]) Ann. Soc. belge de Microscopie. 1882.

Fall ist das Aussehen ein verschiedenes je nach dem Größenverhältnis zwischen Flüssigkeit und Einschlußraum. Ist so viel Flüssigkeit vorhanden, daß sie den Raum zum größeren Teil ausfüllt, so wird der Rest von dem Dampf der Flüssigkeit oder einem andern Gase in Form eines beweglichen runden Bläschens eingenommen, das als Libelle (libella = Wasserwage) bezeichnet zu werden pflegt. Es grenzt sich dann diese Libelle gegen die Flüssigkeit mit einem breiten, die Flüssigkeit gegen den Kristall mit einem schmalen dunkeln Rande infolge der totalen Reflexionen ab (s. § 218). Wenn dagegen das Flüssigkeitsvolumen im Verhältnis zum Einschlußraum ein kleines ist, und überdies die Flüssigkeit die Kristallsubstanz nicht benetzt (Taf. XI Fig. 4), so nimmt die Flüssigkeit Tropfenform an und umgibt sich mit einer Hülle ihres Dampfes oder eines andern Gases. Es bildet also dann scheinbar die Flüssigkeit eine Libelle, die sich nach außen durch einen dunkeln Rand gegen die Dampfhülle abgrenzt; diese ihrerseits ist dann auch gegen die Kristallsubstanz breit und dunkel umrandet. Das Auftreten der Libellen schließt natürlich mit Sicherheit die Verwechslung von Flüssigkeits- und Gaseinschlüssen aus.

Die in Kristallen eingeschlossenen Flüssigkeiten sind fast stets wasserhell, selten beobachtet man eine gelbliche, ausnahmsweise eine rotgelbe (orange) Färbung; dabei ist abgesehen von den klebrigen Einschlüssen erdölartiger Substanzen.

218. Die optischen Erscheinungen bei Gas- und Flüssigkeitseinschlüssen fallen dadurch auf, daß man bei Einstellung auf verschiedene Höhen des Präparats sehr abweichende Bilder enthält. Eine Vorstellung hiervon geben die Abbildungen in Fig. 675, die dem Werke W. B. Carpenters, The Microscope and its Revelations, 7. Aufl., London 1891, entnommen sind. Die oberen Figuren (*A B C*) zeigen eine Luftblase in Wasser, die mittleren (*A′ B′ C′*) eine solche in Kanadabalsam und die unteren (*A″ B″ C″*) einen Öltropfen in Wasser.

Bei Einstellung auf den tiefsten Punkt einer mit Wasser umgebenen Libelle (*A* in Fig. 675) sieht man eine stark beleuchtete, scharf begrenzte, kleine runde Scheibe, die von einem breiten, vollständig dunkeln Kreis umgeben wäre, wenn es gelänge, alles Seiten- und Oberlicht, auch das vom Objektiv reflektierte, vollständig abzublenden. Wegen dieser unter gewöhnlichen Verhältnissen mangelhaften Abblendung treten in dem dunkeln Kreis helle (farbige) Interferenzringe auf, von denen einer in *A* gezeichnet ist. Bei Hebung des Tubus und Einstellung etwa auf die Äquatorialebene des Einschlusses umgibt sich die innere helle Scheibe mit einem verwaschenen Ring, während die äußere Begrenzung, abgesehen von Beugungsbildern, scharf bleibt (*B*). Bei abermaliger Hebung des Tubus, etwa auf die Oberfläche der Kugel, erhält auch der dunkle Kreis außen eine Schattierung (*C*). — Bei Einbettung der Libelle in Kanadabalsam anstatt in Wasser treten ähnliche Erscheinungen auf, nur werden die hellen Innenscheiben und die verwaschenen Ränder etwas kleiner, wie dies aus *A′ B′ C′*

der Fig. 675 bei Tief-, Mittel- und Hochstellung des Tubus zu ersehen ist. Übertrifft die Lichtbrechung des Einschlusses die des umgebenden Mediums, so kehrt sich die Erscheinung um; das scharf begrenzte Mittelfeld entsteht bei Hochstellung, die verwaschene Kontur des dunkeln Ringes bei Tiefstellung des Tubus, während bei mittlerer Lage ein Bild, etwa wie in B'' auftritt.

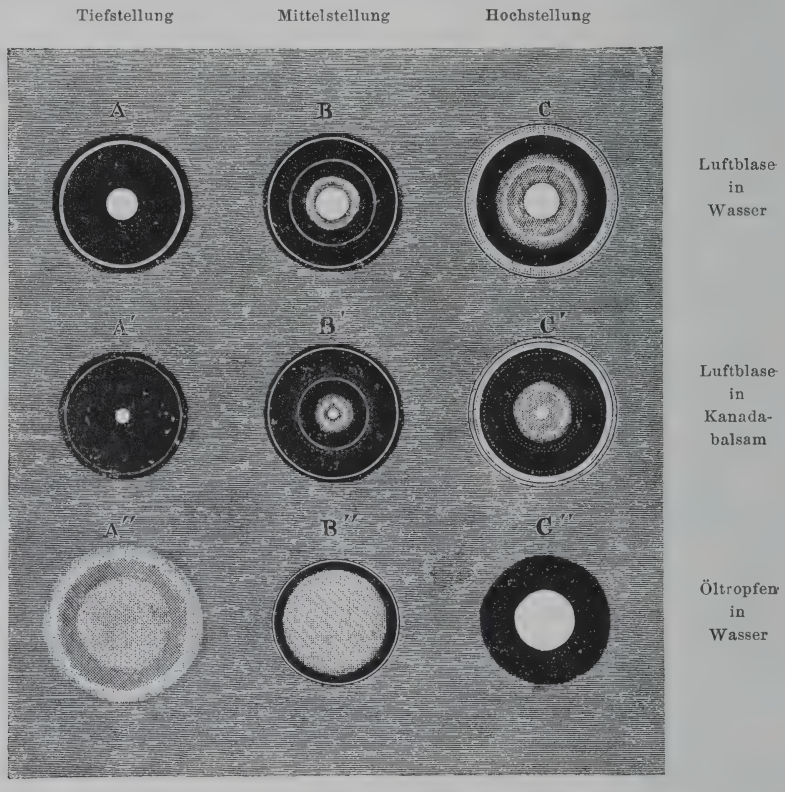


Fig. 675.

Diese wechselvollen Erscheinungen sind mehrfach auf Totalreflexionen zurückgeführt worden; indessen scheinen die Reflexionen hier eine geringere Rolle zu spielen als die Ablenkungen durch Brechung und die Begrenzungen durch die Aperturen der Beleuchtungslinsen und der Objektive. Fig. 676 zeigt den Gang eines in senkrechter Richtung einfallenden Strahlenbündels. Der äußerste Strahl rechts, der bei dem Übergang von Kanadabalsam in Luft unter dem Winkel von $40^0\,35'$ totale Reflexion erleidet, erfährt eine zweite Totalreflexion an der Oberfläche des Deckglases, und dieses Schicksal erleiden auch noch eine Reihe anderer Strahlen, die an der Libelle noch nicht total reflektiert werden, wie der Strahl 2. Aber auch Strahl 3,

der zwar den Übergang aus dem Deckglas in Luft findet, ist so stark abgelenkt, daß er von Trockensystemen nicht aufgenommen wird. Die Verhältnisse werden noch verwickelter, wenn man den Gang von andern einfallenden Strahlenbündeln verfolgt, wobei man findet, daß keine einfache Beziehung zwischen den Radien der hellen Scheiben und dunkeln Ränder einerseits, und den Brechungsverhältnissen andererseits besteht. Bei der Voraussetzung gleicher Aperturen läßt sich nur soviel sagen, daß die dunkeln Ränder der Gaseinschlüsse breit, die der Flüssigkeitseinschlüsse schmal und die der Einschlüsse von festen Körpern noch schmäler werden.

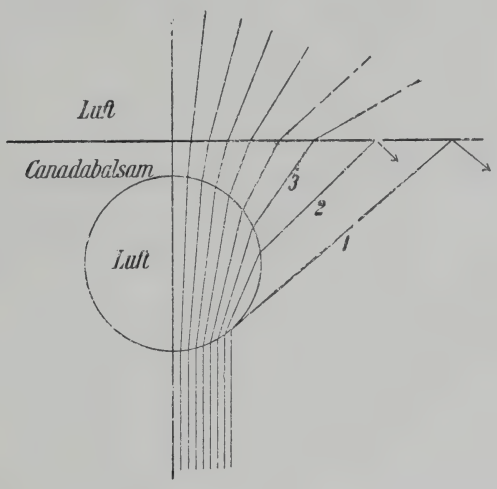


Fig. 676.

219. Brownsche Molekularbewegung. Die in den Flüssigkeitseinschlüssen vorkommenden Libellen zeigen sehr oft eine scheinbar spontane Bewegung, indem sie bald langsam pendelartig hin und her schwanken, bald in lebhaftem Tanze und wechselnder Richtung durch die Flüssigkeit dahineilen. Diese Beweglichkeit pflegt um so größer zu sein, je kleiner die Libelle ist; große Libellen bleiben stationär. Es gelingt leicht, eine Bewegung bei kleinen Libellen künstlich hervorzubringen, wenn sie nicht vorhanden ist, indem man dem Einschluß einseitig durch Annäherung eines an seinem Ende erhitzten Glasstabes oder durch Daraufblasen eines erhitzten Luftstromes aus einer feinen Glasröhre Wärme zuführt. Über die Glasröhre schiebt man an geeigneter Stelle einen passenden Metallzylinder, welcher erhitzt wird, und verbindet das andere Ende mit einem kleinen Gummiballon, durch dessen Druck man die Luft durch die geheizte Glasröhre treibt. Große Libellen sind auf diese Weise nur ausnahmsweise in Bewegung zu setzen; sobald aber durch hinreichende Erhitzung und

dadurch bedingte Expansion der Flüssigkeit die Libelle auf die geeignete Größe reduziert ist, tritt auch hier die Bewegung ein. Dabei macht man die eigentümliche Wahrnehmung, daß die Libelle von der Wärmequelle in manchen Fällen angezogen, in andern Fällen dagegen abgestoßen wird. Man kann an geeigneten Libellen den Versuch in beliebiger Reihenfolge rasch hintereinander und stets mit dem gleichen Resultat wiederholen, solange die angewandten Temperaturen nicht zu sehr variieren. Durch die einseitige Wärmezufuhr wird einmal die Oberflächenspannung der Flüssigkeit auf der erwärmten Seite des Einschlusses, der als Kapillarröhre zu denken ist, verringert und dadurch die Libelle der Wärmequelle zugetrieben; andererseits wird auf der erwärmten Seite ein Teil des in der Flüssigkeit gelösten Gases frei, dadurch die Oberflächenspannung erhöht und also die Libelle von der Wärmequelle fortgetrieben. Der relative Wert dieser beiden Erscheinungen, der mit der Temperatur sich ändern kann, bedingt Anziehung oder Abstoßung der Libelle.

Diese, besonders bei den lebhaft sich bewegenden Libellen anfangs sehr überraschende Erscheinung wurde zuerst von dem englischen Botaniker R. Brown 1827 beobachtet[1]) und nach ihm die Brownsche Molekularbewegung genannt, wenn es sich auch natürlich nicht etwa um die sichtbar gemachte Bewegung der Moleküle handeln kann.

Die Bewegung beschränkt sich keineswegs auf die Libellen, sondern ist an jedem kleinen, in einer Flüssigkeit suspendierten Körperchen zu beobachten. A. Atterberg[2]) hat festgestellt, daß Sandkörner von 3 μ Größe diese Bewegung nur schwach zeigen, daß sie aber bei Körnern von 2 μ ausgeprägt vorhanden ist. Sehr gut eignet sich zur Demonstration ein durch passende Verdünnung durchsichtig gemachter Tuschetropfen, den man unter einem Deckglas ausbreitet und bei sehr starker Vergrößerung betrachtet. Bei der Schätzung der Geschwindigkeit der pendelnden Bewegungen der Kohleteilchen darf man die angewandte etwa 1000fache Vergrößerung nicht außer acht lassen. Ein solches Tuschepartikelchen mochte nach meinen Beobachtungen etwa 10 Hin- und Herbewegungen in einer Sekunde ausführen, wie durch Vergleich mit einer schwingenden Saite geschätzt wurde, und dabei Amplituden bis zu etwa 0,0005 mm $= {}^1/_2\,\mu$ erreichen. Auf geradlinige Bewegung umgerechnet, ergibt dies einen Weg von ${}^1/_{100}$ mm in einer Sekunde. Man hat es also mit einer schließlich doch nur sehr langsamen Bewegung zu tun, die noch etwa dreimal langsamer als die der Spitze des großen Zeigers einer Taschenuhr erfolgt; nur die starke Vergrößerung und der Richtungswechsel machen sie so auffällig.

Diese Brownsche sog. Molekularbewegung hat zu sehr vielen Untersuchungen Veranlassung gegeben, von denen hier nur einige wie die von

---

[1]) Phil. Mag. **4.** 1828. 161—163; **6.** 1829. 161—166; Pogg. Ann. **14.** 1828. 294—313.

[2]) „Versuchs-Stationen", Kalmar 1909. 135.

Chr. Wiener[1]), S. Exner[2]), W. N. Hartley[3]), G. W. Hawes[4]), A. Einstein[5]) und J. Perrin[6]) genannt werden mögen. G. W. Hawes hat es wahrscheinlich gemacht, daß die scheinbar freiwillige Bewegung der Libellen in den Flüssigkeiten, über deren Ursache man sehr verschiedene Vermutungen aufgestellt hat, durch stete Temperaturschwankungen bedingt ist, da sie aufhört, wenn man die Temperatur in dem Präparat auf dem Mikroskoptisch allenthalben gleich und konstant macht. Nach den neueren Untersuchungen wird die Brownsche Bewegung durch die regellosen Stöße der Flüssigkeitsmoleküle gegen die suspendierten Teilchen hervorgerufen[7]).

Die Beweglichkeit der Libellen ist ein vollgültiger Beweis für den flüssigen Aggregatzustand der Einschlüsse, in denen sie auftreten und bildet ein wichtiges Unterscheidungsmittel gegenüber den Glas- und Schlackeneinschlüssen.

220. Entstehung der Gas- und Flüssigkeitseinschlüsse. Die Gaseinschlüsse können bei allen Arten von Kristallisationen, also in wässerigen oder schmelzflüssigen oder gasigen Lösungen — im letzteren Falle auf dem Wege der Sublimation — entstehen. Ihre Bildung bei sublimierten Kristallen bedarf keiner weiteren Begründung. Ihre primäre Entstehung bei wässerigen Lösungen hat J. W. Retgers[8]) sehr ansprechend erklärt, indem er an die Tatsache anknüpft, daß Wasser und andere Lösungsmittel Gase absorbieren und unter gewissen physikalischen Bedingungen wieder abscheiden können. Verliert z. B. eine wässerige Lösung durch Verdampfung Wasser und durch Kristallisation Salz, so werden sich auch die gelösten Gase allmählich ausscheiden und an die Oberfläche der wachsenden Kristalle in Form kleiner Bläschen ansetzen, wie sich die Kohlensäurebläschen an einen Stab ansetzen, den man in Sodawasser taucht. Natürlich können diese Gasausscheidungen auch durch Temperaturerniedrigung erfolgen, wie schon Sorby an die Luftporen im Eis treffend erinnerte. Befindet sich ein derartiges, bei kleinen Dimensionen außerordentlich fest haftendes Bläschen an der Oberfläche eines im Wachstum begriffenen Kristalls, so sieht man ein, daß um das Bläschen herum die Mutterlauge stagniert und nicht so leicht durch Ströme übersättigter Lösung verdrängt wird. Auf eine kleinere oder größere Entfernung um das Gasbläschen wird also kein Wachstum stattfinden, sondern ein mehr oder weniger

[1]) Pogg. Ann. **118.** 1863. 90.
[2]) S. W. A. **56.** 1867. 116—123.
[3]) Proc. R. Soc. London. **26.** 1878. 137, 150.
[4]) Am. Journ. **21.** 1881. 208—209.
[5]) Ann. Phys. (4) **19.** 1908. 371— 381.
[6]) Die Brownsche Bewegung und die wahre Existenz der Moleküle. Übersetzt aus dem Französischen von J. Donau. Sonderausgabe der Kolloidchemischen Beihefte. Dresden-Leipzig 1910. 84 S.
[7]) Vergl. G. Mie in Handwörterb. d. Naturw. Jena. Bd. VI. 1916. 766.
[8]) Z. phys. Chem. **9.** 1892. 274.

großer Mutterlaugeneinschluß sich bilden, um den die Substanz in kristallographischer Orientierung herumwächst und einen sogenannten negativen Kristall bildet. Da nun die Größe der um das Gasbläschen stagnierenden Mutterlauge von zufälligen Umständen abhängt, so erklärt sich auch das vielfach beobachtete Fehlen eines bestimmten Größenverhältnisses von Libelle und Flüssigkeit.

Mit dieser Retgersschen Erklärung steht auch die schon von Sorby bei künstlichen Kristallisationen gemachte Beobachtung im Einklang, daß die Zahl der Flüssigkeitseinschlüsse im geraden, ihre Größe im umgekehrten Verhältnis zur Wachstumsgeschwindigkeit steht. Bei langsamer Kristallisation haben eben die Gase Zeit, sich in der Lösung zu verteilen und an der Oberfläche zu verdunsten, während sie bei schneller Kristallisation an Ort und Stelle ausgeschieden werden.

Daß alle in Mineralien auftretenden Flüssigkeitseinschlüsse primär seien, ist nicht anzunehmen; vielmehr ist es von vornherein vorstellbar, daß ursprüngliche Gaseinschlüsse oder durch chemische Einwirkungen sekundär entstandene Hohlräume von kapillaren Spalten her mit Flüssigkeit injiziert wurden. Auf den durch Druck bei der Gebirgsfaltung entstandenen Kapillarräumen in den Mineralien ist sehr oft Flüssigkeit eingedrungen.

221. Glaseinschlüsse. In Mineralien, die aus schmelzflüssiger Lösung kristallisierten, findet man oft Teile ihrer schmelzflüssigen Mutterlauge in erstarrter Form eingeschlossen und nennt dieselben Glaseinschlüsse (glass cavities Sorby) bei amorpher Erstarrung, Schlackeneinschlüsse (stone cavities Sorby) bei mehr oder weniger kristalliner Ausbildung, sei diese nun ein die Erstarrung begleitender oder erst später in dem bereits starren Einschluß verlaufender Akt gewesen. Zuweilen sind diese Einschlüsse schon mit unbewaffnetem Auge zu erkennen, wie die bis hirsekorngroßen Glaseinschlüsse in den Quarz- und Feldspatkristallen des Pechsteins von der Insel Arran, die F. Zirkel beschrieb[1]). Die Form dieser Glas- und Schlackeneinschlüsse ist eine ebenso regellose und mannigfache, wie bei den Gas- und Flüssigkeitseinschlüssen, und auch hier beobachtet man oft, daß die Einschlüsse die Formen ihrer Wirte besitzen, z. B. dihexaëdrisch im Quarz (Taf. XII Fig. 1), rhombendodekaëdrisch im Hauyn, parallelepipedisch im Feldspat (Taf. XII Fig. 2) usw. sind. Die Farbe dieser Glaseinschlüsse ist eine mit ihrer chemischen Zusammensetzung, zumal mit dem Eisengehalt des Gesteinsglases wechselnde; sie pflegen farblos in den Gemengteilen der sauren Eruptivgesteine zu sein, sind dagegen sehr oft gelb, rot oder braun gefärbt in denen der basischen Felsarten. Überaus häufig haften an diesen Glaseinschlüssen ein oder mehrere, stark dunkel umrandete, durch Temperaturveränderungen nicht bewegliche Gasbläschen (Taf. XII Figuren 1 und 2), ja in manchen Fällen

[1]) Z. D. G. G. **23.** 1871. 43.

sind die Glasfetzchen siebartig durchlöchert durch die große Zahl anhaftender Bläschen. Ihre Unbeweglichkeit und die gleichzeitige Anwesenheit mehrerer in demselben Glaseinschluß (Taf. XII Fig. 2) sind das beste Unterscheidungsmittel dieser gegenüber den Flüssigkeitseinschlüssen.

Glaseinschlüsse, welche Flüssigkeitseinschlüsse bergen, wurden von F. Zirkel erwähnt[1]). Sorby schrieb die Bildung der Gasbläschen der Kontraktion des erstarrenden Glaseinschlusses zu und erklärte ihr Fehlen durch die starke Adhäsion des Einschlusses an den Kristallwänden bei geringem Betrage der Kontraktion. Man hat mit Recht gegen diese Erklärung eingewandt, daß eine so starke Volumabnahme, wie sie die oft so zahlreichen Bläschen notwendig erscheinen lassen würden, nicht anzunehmen sei. Da man weiß, daß die natürlichen Silikatschmelzflüsse große Mengen von Gasen (Wasserdampf) absorbieren können, die bei Abkühlung oder Druckverminderung entweichen, so gilt hier für das Vorhandensein und Fehlen der Gasbläschen eine ähnliche Erklärung, wie sie in Paragraph 220 bezüglich der Libellen gegeben wurde[2]). Dagegen dürfte eine eigentümliche Spannung, die man in der unmittelbaren Nähe dieser Glaseinschlüsse, zumal wenn sie sog. negative Kristalle sind, an ihren Wirten beobachtet, und die zumeist nur optisch wahrnehmbar ist, stellenweise sich aber auch bis zur Bildung kapillarer Risse steigern kann (Taf. XII Fig. 1), wohl mit der Schrumpfung dieser erstarrenden Schmelzflußteilchen, die kräftig an der Substanz des einschließenden Kristalls adhärieren, in ursächlichem Zusammenhang stehen.

222. Individualisierte Einschlüsse. Das Vorkommen der individualisierten Einschlüsse, der Einschlüsse von Mineralien in Mineralien, ist eine schon vor Einführung des Mikroskops bei durchsichtigen Mineralien wie Quarz, Glimmer, Kalkspat, wohlbekannte Tatsache, die in einzelnen Fällen [Kryptolith (Monazit) in Apatit] auch chemisch[3]) dargetan wurde. Die mikroskopischen Untersuchungen haben nur die außerordentliche Verbreitung derartiger Interpositionen nachgewiesen und ihre Bedeutung für die Resultate chemischer Analysen in helles Licht gestellt. Auch manche optischen Phänomene (Schillern der Kristalle, Asterismus usw.) hat man durch ihr Vorhandensein erklären können. Man pflegt nun nur diejenigen in den Mineralien eingeschlossenen fremden Kristalle als Interpositionen zu bezeichnen, die älter als ihr Wirt sind oder sich mit diesem gleichzeitig bildeten, betrachtet dagegen die auf Spaltungsdurchgängen infiltrierten oder durch Zersetzung und Umwandlung des Wirtes entstandenen Neubildungen nicht als eigentliche Einschlüsse. Die konstante Wiederkehr gewisser Interpositionen in gewissen Wirten läßt vermuten, daß durch die Kristallisation einer bestimmten Verbindung aus einer gemischten Lösung oder Schmelze sofort eine andere Verbindung unlöslich wird und

[1]) Z. D. G. G. **19.** 1868. 132.
[2]) S. auch Vogelsang, Pogg. Ann. **121.** 1864. 116.
[3]) F. Wöhler, Pogg. Ann. **67.** 1846. 268—272, 424—427.

zur Ausscheidung gelangt. Wenn z. B. in einem Dunit-Magma Mg_2SiO_4 auskristallisiert, so scheint die Schmelze in bezug auf $FeCr_2O_4$ übersättigt zu werden [1]).

In denjenigen Gesteinen, die unter starkem Gebirgsdruck standen, sind die Gemengteile oft einer weitgehenden Zertrümmerung anheimgefallen, in deren Gefolge Lösungen teils auf rein mechanisch orientierten, teils auf durch Gleitung bedingten Flächen Neubildungen hervorbrachten. Die Unterscheidung solcher Neubildungen von ursprünglichen Einschlüssen kann sehr schwierig werden.

Die Menge der individualisierten Einschlüsse in einem Kristall ist oft eine so große, daß man geradezu von einer gegenseitigen Durchdringung zweier oder mehrerer stofflich und morphologisch verschiedener Substanzen sprechen kann. Ganz besonders häufig trifft man den Quarz und die sauren Feldspäte in dieser gegenseitigen Durchdringung; dieselbe bildet eine eigene, für gewisse Glieder der Quarzporphyr-Reihe charakteristische Erscheinung, die sog. granophyrische Struktur (Taf. XIII Fig. 4). Auch die basischen Massengesteine zeigen verwandte Phänomene, indem z. B. die größeren Augiteinsprenglinge derart erfüllt sind mit Apatit, Magnetit, Glimmer, Nephelin, Hauyn usw., daß die Augitsubstanz gewissermaßen nur ein Zement für diese verschiedenartigen Mineralien bildet (Taf. XII Fig. 5). Mit solchen Gebilden haben die in den kristallinen Schiefern vorzugsweise auftretenden Perimorphosen eine unverkennbare Analogie.

223. Räumliche Anordnung der Einschlüsse. In vielen Fällen bemerkt man keinerlei gesetzmäßige Beziehung in der Anordnung der kristallinen Interpositionen gegen ihre Wirte (Taf. XII Fig. 3) oder gegeneinander. Wir wissen jedoch durch die makroskopischen regelmäßigen Verwachsungen vieler Mineralien, die besonders von O. Mügge [2]) und F. Wallerand [3]) studiert wurden, sowie durch die Untersuchungen Frankenheims über Kristallisationen, die er sich auf Spaltblättchen von Glimmer, Gips und Fluorit vollziehen ließ [4]), daß ein Kristall richtend auf Kristalle anderer Art einwirken kann, die sich auf ihm bilden. Auch bei den mikroskopischen kristallinen Interpositionen ist vielfach eine bestimmte Anordnung gegeneinander und gegen ihren Wirt erkennbar. Taf. XII Fig. 4 zeigt eine solche bei den mikrolithischen Einschlüssen des Hypersthens, die seinen Farbenschiller bedingen. Ebenso wird die in den Tiefengesteinen so verbreitete Durchdringung bei verschiedenen Gliedern der Feldspatreihe (Mikroklin, Albit, Orthoklas) durch streng kristallographische Gesetze geregelt. Der spezielle Teil des Buches wird zahlreiche Belege hierfür bringen.

---

[1]) Mitteilung von H. Rosenbusch.
[2]) N. J. B. B. **16.** 1902/03. 335—475.
[3]) Bull. Soc. Min. Fr. **25.** 1903. 180—222.
[4]) Pogg. Ann. **37.** 1836. 516—522.

Nicht durch kristallographisch richtende Kräfte, sondern nur durch die Wachstumsgeschwindigkeit ist die Erscheinung bedingt, daß sich regelmäßige Einlagerungen an gewissen Stellen ihrer Wirte häufen, während andere Teile verhältnismäßig oder ganz frei davon sind. Diese Regelmäßigkeit zeigt sich daher nicht nur bei kristallinen sondern auch bei andersartigen Interpositionen. Man unterscheidet in dieser Beziehung die zentrale (Taf. XIII Fig. 1), die peripherische (Taf. XIII Fig. 2), die zonare (Taf. XIII Fig. 3) und die in verschiedenen Teilen der Anwachspyramide verschieden erfolgende Anordnung. Bei der zentralen Anordnung sind die inneren Teile des Kristalls voll von Einschlüssen, die äußeren mehr oder weniger frei, bei der peripherischen ist das Umgekehrte der Fall. Bei der zonaren Anordnung liegen die Einschlüsse auf den Oberflächen konzentrischer Kristallschalen. Die Anordnung der Einschlüsse in gewissen, kristallographisch begrenzten Teilen eines Individuums, und das Fehlen in anderen Teilen, hängt mit der Entstehung der Kristalle aus Anwachspyramiden (§ 214) auf das innigste zusammen. Die schon oben erwähnten Arbeiten Beckes und seiner Schüler müssen auch hier zur Erklärung herangezogen werden. Die Richtungen, nach denen ein Kristall am schnellsten wächst, nach denen, wie man sich ausdrücken kann, die größte Kristallisationskraft herrscht, sind besonders befähigt, Fremdkörper zurückzuweisen, so daß diese also auf den zugehörigen Flächen nicht zur Ablagerung gelangen; andere Richtungen aber mit langsamem Wachstum vermögen sich der Schmarotzer gleichsam nicht zu erwehren. So hat schon C. E. M. Rohrbach[1]) überzeugend nachgewiesen, daß die bei Chiastolith in den Querschnitten als dunkle Kreuzarme erscheinenden Wände von Einschlüssen nur die Spuren von Prismenkanten darstellen, die an den Chiastolithkristallen meist schlecht ausgebildet, häufig eingekerbt sind und so den in der ganzen Lösung vorhandenen Fremdkörpern am ehesten Gelegenheit geben, an diesen ruhigen Stellen liegen zu bleiben, um beim Weiterwachsen der Flächen eingeschlossen zu werden. Damit war wohl die Erklärung des Kreuzes, nicht aber die des zentralen Flecks gegeben, die erst aus der Beckeschen Auffassung von den Anwachspyramiden folgt[2]). Becke sieht in dem schwarzen Zentralfleck nichts anderes, als den quer durchschnittenen Anwachskegel der Endfläche. Während auf den Prismenflächen das Wachstum des Chiastolithkristalls solide fortschreitet, werden auf den Endflächen massenhaft fremde Einschlüsse aufgenommen. Auch der von Pelikan[3]) wiederholte Versuch de Sénarmonts[4]) über die Kristallisation von Strontiumnitrat in einer Farblösung, und die Beobachtungen Mühlhausers[5]) über die regel-

[1]) Z. D. G. G. **39.** 1887. 635.
[2]) „Lotos" **14.** 1894. 4.
[3]) T. M. P. M. **13.** 1892. 285.
[4]) Ann. Chim. Phys. (3) **41.** 1854.
[5]) T. M. P. M. **20.** 1901. 368.

mäßigen Einschlüsse in Gipskristallen und viele andere, noch nicht unter dem einheitlichen Gesichtspunkt der Beckeschen Anwachskegel gemachten Beobachtungen, gehören hierher.

Da Wachstumsgeschwindigkeit und Einschlußreichtnm hiernach in umgekehrtem Verhältnis stehen, so darf man schließen, daß bei zentraler Anordnung der Einschlüsse das Wachstum des Wirtes sich beschleunigte, bei peripherischer sich verlangsamte, und daß bei zonarer Anordnung Perioden langsamen und raschen Wachstums abwechselten.

224. Die stoffliche Natur der Einschlüsse wurde zuerst von H. Davy untersucht[1]), wobei er sich zunächst auf mehr oder weniger makroskopische Vorkommen beschränkte und die gewöhnlichen chemischen Prüfungsmethoden zur Anwendung brachte. So fand Davy in Mineralien, die für Gase undurchdringlich sind, wie im Amethyst von Schemnitz, Bergkristall von Guanaxuato (?) und im Chalcedon aus pyrogenen Gesteinen Stickstoff, der nach seiner Annahme aus der Atmosphäre herrühren konnte, dessen Sauerstoff von der Mutterlauge absorbiert war, während in den Hohlräumen der für Gase permeablen Mineralien, wie des Calcits und einiger Chalcedone, die eingeschlossenen Bläschen sich als atmosphärische Luft bestimmen liessen. Bei den impermeablen Mineralien standen die Gase unter sehr geringem Druck ($^1/_8$ bis $^1/_{70}$ Atmosphäre), was sich bei dem vorsichtigen Öffnen der Hohlräume unter Öl, Wasser und Quecksilber herausstellte. Einmal beobachtete er auch bei einem Kristall (quid?) von Capam d'Hollanda (nicht Capao do lan, wie gewöhnlich angegeben wird) einen Flüssigkeitseinschluß mit sehr kleinem Bläschen, das sich bei der Öffnung auf das 10 bis 12fache seines früheren Volumens ausdehnte. Die Flüssigkeit war Wasser.

Zu ähnlichen Resultaten wie Davy bei den zuerst genannten Beobachtungen gelangte Gümbel[2]) bei den Untersuchungen der mit Flüssigkeit gefüllten Chalcedonmandeln von Catalan, 30 Leguas NO von Salto in Uruguay. Dieselben ergaben, daß die Gase des Mandelinhalts wahrscheinlich Wasserdampf und atmosphärische Luft von geringem Druck, nämlich 65,1 mm Quecksilber waren. Wurde daher die Mandel unfern der Erdoberfläche gebildet, so mußte sie im Augenblick ihres Schließens von einer Atmosphäre von Wasserdampf und Luft umgeben sein, deren Temperatur so hoch war, daß durch Abkühlung der Mandel auf 15,5° C. die Spannung der eingeschlossenen Gase bis auf 65 mm sinken konnte. Das würde auf eine Temperatur von etwa 100° C. schließen lassen.

225. Einschlüsse von Wasser sowie flüssiger und gasförmiger Kohlensäure. Außerordentlich interessante und wertvolle Untersuchungen über die Flüssigkeitseinschlüsse in Kristallen verdanken wir Sir David

[1]) Philosoph. Transact. 1822. 367—376. Ann. Chim. Phys. **21.** 1822. 132—143.
[2]) S. M. A. 1880. 241—254; 1881. 321—368.

Brewster[1]) Er stellte seine Untersuchungen besonders an jenen wasserhellen bis bläulichen Topasgeschieben vom Rio Belmonte in Brasilien an, die unter dem Namen Pingos d'agoa (Wassertropfen) bekannt sind, zog aber ferner eine große Reihe anderer Mineralien, wie Quarz, Cymophan, Olivin, Smaragd, Beryll, Feldspat u. a. in den Bereich seiner Forschungen. Er erkannte, daß in den Flüssigkeitseinschlüssen zwei physikalisch sehr verschiedene Fluida bald einzeln, bald nebeneinander, aber ohne sich zu mischen, vorkommen. Die eine Flüssigkeit zeigte eine sehr geringe Adhäsion an den Wandungen der sie enthaltenden Höhlungen, eine ungemeine Beweglichkeit und eine auffallende Ausdehnung bei Erwärmung, sowie ein sehr geringes Brechungsvermögen, während die Eigenschaften der andern Flüssigkeit meistens sehr gut mit denen des reinen Wassers oder einer mehr oder weniger konzentrierten wässerigen Lösung übereinstimmten. Die Ausdehnung der sehr expansiblen Flüssigkeit wurde von Brewster genau gemessen, indem er das Volumverhältnis der Libelle zu dem Fluidum bestimmte und nun bis zum Verschwinden der Libelle erwärmte. Es ergab sich, daß bei einer Erwärmung von 50° bis 80° F. (10°—26,7° C.) die Flüssigkeit sich um ein Viertel ihres ursprünglichen Volumens, von 1 auf 1,25, ausgedehnt hatte, also 82mal stärker als Wasser, dessen Volumen bei 10° C. und 26,7° C. sich verhält wie 1,000145 : 1,003190 oder wie 1,000000 ; 1,003045. — Betrug dagegen ursprünglich, d. h. bei gewöhnlicher Temperatur, das Volumen der Flüssigkeit nur $^1/_3$—$^1/_4$ des ganzen Hohlraums, also das der Libelle $^2/_3$—$^3/_4$, so trat bei Erwärmung die entgegengesetzte Erscheinung ein; statt sich auszudehnen und die Libelle zu absorbieren, nahm das Volumen der Flüssigkeit ab und sie verdampfte gänzlich. — Der Brechungsindex dieser expansiblen Flüssigkeit wurde im Topas zu 1,1311 bestimmt, während der der andern nicht expansiblen Flüssigkeit sich auf 1,2946, also weit näher dem des Wassers, stellte, welchen Brewster = 1,3358 fand. — Öffnete Brewster die Einschlüsse im Topas und gelangte die expansible Flüssigkeit auf die Kristalloberfläche, so breitete sie sich aus, kam in wallende Bewegung und verdunstete in 10—12 Minuten, meistens mit Hinterlassung eines Rückstandes von kleinen getrennten festen Teilchen, die bei Annäherung eines warmen Gegenstandes wieder flüssig wurden. Wärme verflüchtigte diese Teilchen, und in Salzsäure, Schwefelsäure und Salpetersäure lösten sie sich ohne Brausen.

Brewster zog aus seinen Beobachtungen den Schluß, daß die stark expansible Flüssigkeit ein komprimiertes Gas sein müsse, konnte sie aber mit keinem bekannten Körper identifizieren. Erst lange nachdem Thilorier im Jahr 1835 seine Untersuchungen über liquide und feste Kohlensäure[2]) veröffentlicht hatte, sprach R. Th. Simmler[3])

[1]) Edinb. Phil. Journ. **9.** 1823. 94—95, 268—270, 400. Transact. R. S. Edinb. **10.** 1826. 1—42; 407—427. Pogg. Ann. **7.** 1826. 469—488; 489—514 und zahlreiche andere Aufsätze des Verfassers.

[2]) Pogg. Ann. **36.** 1835. 141

[3]) Pogg. Ann. **105.** 1858. 460—466.

1858 die Vermutung aus, daß die von Brewster in manchen Mineralien, zumal in Topas, entdeckte expansible Flüssigkeit liquide Kohlensäure sei und begründete seine Ansicht durch eine Vergleichung der von Brewster und Thilorier gefundenen Konstanten beider. So ließ sich aus Brewsters Versuchen der Ausdehnungskoëffizient des expansiblen Fluidums zwischen 10,6° C. und 26,7° C. zu 0,01497 für 1° C., nach Thilorier derjenige der liquiden Kohlensäure in den Grenzen von 0°—30° C. zu 0,015 für das gleiche Temperaturintervall ermitteln; ähnliche Übereinstimmung ergab sich für die übrigen Eigenschaften. Genaue Temperaturmessungen über das Verschwinden und Wiedererscheinen der Libellen stellte Alexis A. Julien an[1]), indem er den ganzen Schliff in ein kleines Wasserbad tauchte. Die fragliche Temperatur lag bei etwa 28° C.

Die Beobachtung Brewsters, daß in ein und demselben Einschluß die expansible Flüssigkeit (liquide Kohlensäure) unvermischt mit einer andern (Wasser) vorkomme, läßt sich in zahlreichen Fällen bei dem Studium der Flüssigkeitsinterpositionen des Quarzes in granitischen Gesteinen und kristallinen Schiefern, des Bergkristalls, des Topases, Berylls usw. wiederholen (Taf. XI Fig. 6), und stützt in hohem Grade die Vermutung Simmlers. Die Erscheinung dieser Flüssigkeitseinschlüsse mit doppelter Libelle, wie man sie zu nennen pflegt, oder dieser Einschlüsse zweier sich nicht mischender Flüssigkeiten, wie sie richtiger heißen sollte, ist dann eine solche, daß die nicht stark ausdehnbare, das Mineral netzende Flüssigkeit die peripherischen Teile des Einschlusses einnimmt, während die liquide und die gasförmige Kohlensäure die zentralen Teile okkupiert; und zwar umhüllt die liquide Kohlensäure die gasförmige, beide mit sphäroidaler Form, wenn die Menge der flüssigen eine relativ große ist. Umgekehrt wird ein Tropfen der flüssigen Kohlensäure durch die gasförmige von dem Wasser getrennt, wenn das Mengenverhältnis ein umgekehrtes ist. Die Lage der breiteren und schmäleren durch Totalreflexion entstehenden Grenzränder läßt im allgemeinen diese beiden Fälle sicher unterscheiden. Ob zwischen der Kohlensäure und der Einschlußwand Wasser vorhanden ist, oder nicht, darüber belehrt gleichfalls die Beobachtung der Grenzränder oder aber ein Erwärmungsversuch, durch den im ersteren Fall die äußere Grenzlinie der Kohlensäure nach außen verschoben wird, im zweiten nicht.

Nach David Brewster nahm zuerst H. C. Sorby[2]) die Untersuchungen über die chemische Natur der Flüssigkeitseinschlüsse wieder auf und bestätigte die von Brewster gemachten Angaben.

Den positiven Beweis dafür, daß die expansible Flüssigkeit in den Einschlüssen liquide Kohlensäure sei, gaben erst H. Vogelsang und

---

[1]) Journ. Amer. Chem. Soc. **3.** 12 Seiten.

[2]) Quart. Journ. G. S. London. **14.** 1858. 453—500; Proc. Roy. Soc. London. 1869. 291—302.

H. Geißler[1]). Ersterer fand in einem Bergkristall von unbekanntem Fundort (wahrscheinlich Madagaskar oder Ceylon) zahlreiche Flüssigkeitseinschlüsse von 0,2 mm bis zu verschwindender Größe, von unregelmäßiger Gestalt oder in der Form von negativen, aus Dihexaeder und Säule bestehenden Kristallen. Flüssigkeit und Libelle waren verhältnissmässig dunkelrandig, die Libelle unbeweglich; sie verließ ihre Lage erst bei Temperaturveränderungen. Die Flüssigkeit benetzte den Quarz nicht und ließ also kapillare Teile des Hohlraums unerfüllt, so daß sie sich in sphäroidaler Gestalt nach außen abgrenzte. Bei Erwärmung aber trat

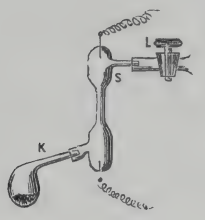


Fig. 677.

Apparat zum spektralanalytischen Nachweis der Kohlensäure nach Vogelsang und Geißler.

das Fluidum mit konvexem Meniskus in die kapillaren Teile der Pore ein. Bei einer Erwärmung von 22° C. auf 32° C. dehnte sich die Flüssigkeit etwa um die Hälfte ihres Volumens aus, denn bei 22° C. war Fluidum zu Libelle etwa wie 2 : 1, bei 32° C. war die Libelle verschwunden. Die Ausdehnuug schien also eine noch stärkere zu sein, als sie Thilorier gefunden hatte, ein Umstand, der sich durch die mancherlei Fehlerquellen bei mikroskopischen Messungen erklärt. Im Topas vom Rio Belmonte verschwand die Libelle zwischen 30° C. und 31° C.

Zum direkten Nachweis der Kohlensäure bedienten sich Vogelsang und Geißler der Spektralanalyse. Das gröblich zerkleinerte Material wurde in die Retorte *K* gebracht, die luftdicht in ein Seitenrohr der Spektralröhre *S* eingefügt war (Fig. 677). Durch ein oberes Seitenrohr kommunizierte diese mit einer Luftpumpe, mit der die Verbindung durch den Hahn *L* hergestellt und unterbrochen werden konnte. Unter gelindem Erwärmen wurden die Röhren so weit evakuiert, daß der Strom kaum noch hindurchging. Dann wurde bei *K* stark erhitzt bis zur Dekrepitation, nach deren Eintritt bei Schließung des Stromes die Verbindung durch eine starke Lichtlinie in der Spektralröhre *S* hergestellt erschien. Diese ergab bei Untersuchung mit dem Spektralapparat das Spektrum der reinen Kohlensäure mit kaum einer Spur der Wasserstofflinien. Als größere

[1]) Pogg. Ann. **137.** 1869. 56—75, ferner H. Vogelsang im gleichen Bd. S. 257—271.

Mengen desselben Quarzes in geschlossener Röhre gesprengt wurden, und man diese unter Kalkwasser öffnete, trat Trübung desselben ein [1]).

Die gleiche Untersuchungsmethode wurde von Vogelsang noch angewandt auf Bergkristall aus dem Maderaner Tal, Amethyst von Schemnitz, Bergkristall von Poretta bei Bologna und Quarz aus dem Granit von Johann-Georgenstadt, bei deren Flüssigkeitseinschlüssen eine Veränderung des Volumenverhältnisses von Libelle und Flüssigkeit trotz Erwärmung auf 100 °C. nicht beobachtet wurde. Die Spektraluntersuchung ergab die Anwesenheit von viel Wasser und wenig Kohlensäure, und Vogelsang hält deshalb die Annahme für wahrscheinlicher, daß die Einschlüsse kohlensäurehaltiges Wasser und eine Libelle von gasförmiger Kohlensäure seien, als daß sie aus Wasser mit einer Libelle liquider Kohlensäure beständen.

Die hier mitgeteilten Beobachtungen stehen nicht immer in vollkommenem Einklang mit den Gesetzen, die nach Cagniard de la Tour und Andrews für das Verhalten der Flüssigkeiten oberhalb ihres kritischen Punktes gelten. Doch erklären sich diese Differenzen zum Teil aus den sehr mangelhaften Temperaturbestimmungen, welche die gebrauchten Erwärmungsapparate gestatteten, zum Teil auch wohl aus Verunreinigungen der in den Einschlüssen vorhandenen liquiden Kohlensäure. Gibt man den Temperaturbestimmungen durch Eintauchen des Objekts und des Objektivs in eine bedeutendere Wassermenge größere Genauigkeit, indem man sich wie Alexis A. Julien [2]) eines auf den Objekttisch zu setzenden Glastroges bedient, oder wie Th. Erhard und A. Stelzner [3]) das ganze Mikroskop bis über die Objektivlinsen in Wasser eintaucht, so verlaufen die Erscheinungen genau so, wie es die physikalischen Gesetze für das Verhalten von Flüssigkeiten unterhalb oder oberhalb ihres kritischen Punktes fordern. Erwärmt man einen Flüssigkeitseinschluß, der liquide und gasförmige Kohlensäure enthält, allmählich,

[1]) A. E. v. Nordenskjöld hat (G. F. i Stockholm Förhdl. 1885. VII. 758 und N. J. 1886. I. 242) die Deutung der besprochenen Einschlüsse als liquide Kohlensäure angegriffen, indem er sich besonders darauf stützte, daß teils spontan, teils erst beim Glühen der brasilianischen Topase mit diesen Interpositionen sich eine Substanz in denselben und in deren Nähe abscheide, die durchaus ähnlich der nach dem Glühen harzähnlicher organischer Substanzen zurückbleibenden Kohle sei. Er schließt daraus, daß die für liquide Kohlensäure gehaltene Substanz ein Kohlenwasserstoff sei. Diese Beweisführung ist wohl nicht genügend; höchstens könnte sie dartun, daß neben der liquiden Kohlensäure ein Kohlenwasserstoff vorhanden war. H. Rosenbusch hat schon während seines Straßburger Aufentaltes in Gemeinschaft mit Fr. Rose die Flüssigkeitseinschlüsse in der gelben Zinkblende von Picos de Europa in Asturien, wegen ihres abnormen Verhaltens bei Erwärmung, untersucht (diese Physiographie 3. Aufl. 1892. 56) und gefunden, daß sie aus liquider Kohlensäure bestanden, welcher nicht unbeträchtliche Mengen eines paraffinähnlichen Körpers beigemengt waren. Auch hier finden sich auf den Blätterdurchgängen um die Einschlüsse dendritische Absätze einer kohleähnlichen Substanz, die aber nicht näher untersucht wurde.

[2]) Journ. Amer. Chem. Soc. **3.** S. 4 d. Sep.

[3]) T. M. P. M. **1.** 1878. 450—458.

so wird man konkordant mit den Brewsterschen Beobachtungen eine Expansion der Flüssigkeit und also eine Verkleinerung der Gaslibelle, oder aber ein Verdunsten der Flüssigkeit und demnach eine Vergrößerung der Libelle wahrnehmen, je nach den relativen Mengen von Fluidum und Dampf. Doch bleibt diese Erscheinung nur so lange erhalten, als die Temperatur den kritischen Punkt der Kohlensäure nicht erreicht, der bei 31,35° C. liegt. Tritt diese Temperatur vor völliger Absorption der Libelle oder vor völliger Verdampfung der Flüssigkeit ein, so verschwindet auf einmal die Grenze zwischen Flüssigkeit und Dampf durch plötzlichen Übergang aller Flüssigkeit in Dampfform. Dabei beobachtet man, wenn die Einschlüsse recht groß sind, ein auffallendes Nebligwerden der Grenzfläche unter wallender Bewegung; bei den sehr mikroskopischen Einschlüssen jedoch ist diese Beobachtung nicht zu machen. Läßt man nun die Temperatur sinken, so kann man, wenn der kritische Punkt nicht überschritten wurde, dieselbe Erscheinung rückläufig beobachten. War jedoch der kritische Punkt bei steigender Temperatur überschritten, so sieht man sofort, wenn bei Abkühlung derselbe wieder erreicht wird, eine Bewegung in dem Einschlusse, indem sich an vielen Orten zugleich Bläschen bilden, die sich rasch oder allmählich vereinigen, bis nach vollständiger Abkühlung der Anfangszustand wieder erreicht ist. Es entsteht gewissermaßen ein Regen flüssiger Kohlensäure in einer Kohlensäure-Atmosphäre.

Man hat hierdurch ein sehr sicheres Mittel, den kritischen Punkt der eingeschlossenen Flüssigkeit zu bestimmen. Die dahin zielenden Beobachtungen haben nun meistens erkennen lassen, daß der kritische Punkt dieser expansiblen Flüssigkeit unter demjenigen der reinen Kohlensäure liegt, und daß die Libellen, wenn der kritische Punkt nicht erreicht wurde, bei niedrigerer Temperatur wiederkehren, als derjenigen, bei der sie verschwanden. Die Temperaturbeobachtungen Juliens zeigten übrigens nur einen Unterschied von meistens kaum 0,1° zwischen Verschwinden und Wiedererscheinen der Libelle. Diese Differenz erklärt man durch die Adhäsion der sich abkühlenden Flüssigkeit an den Grenzflächen (Wasser); die Erniedrigung des kritischen Punktes wird nach Andrews dadurch zu erklären sein, daß der Kohlensäure ein sog. nicht koerzibles Gas beigemengt ist. Die Vermutung, daß dieses konstante Gas Stickstoff sei, ist direkt durch die analytischen Untersuchungen von A.W.Wright[1]) an den Einschlüssen den Rauchquarzes von Branchville, Conn., als zutreffend erwiesen. Wright fand den Inhalt dieser gedoppelten Flüssigkeitseinschlüsse aus 30,48 % CO_2, 0,50 % N und 69,02 % H_2O zusammengesetzt; auch konnten Spuren von H_2S, SO_2, H_3N, F und Cl (?) nachgewiesen werden. Durch solche Beimengungen konstanter Gase kann der Kondensationspunkt weit unter die kritische Temperatur heruntergedrückt werden, sodaß die Kondensation und damit das Auftreten einer

[1]) Am. Journ. **21.** 1881. 209–216.

Libelle erst durch künstliche Abkühlung, z. B. durch Auftropfen von Äther, erfolgt. Hierher gehören auch die von G. Spezia[1]) beobachteten Flüssigkeitseinschlüsse von dreierlei Art im Kalkspat von Traversella, die von R. Scharitzer näher erklärt wurden[2]). A. Johnsen[3]) hat eine folgenreiche Betrachtung über die Paragenese von α-Quarz und Kohlensäure, wie man sie im Amethyst von Mursinka antrifft, veröffentlicht und aus dem Volumverhältnis der flüssigen und dampfförmigen Kohlensäure in den Hohlräumen des Quarzes auf die Erdtiefe und auf die Entstehungstemperatur geschlossen.

226. Die in den Wassereinschlüssen gelösten und ausgeschiedenen Bestandteile. Schon Brewster hatte in den Flüssigkeitseinschlüssen des Topases und Quarzes, teils aufgewachsen an den Wandungen, teils freiliegend und beweglich, feste Kristalle wahrgenommen. Bei Erwärmung lösten sie sich in der Flüssigkeit auf und kristallierten beim Erkalten wieder aus, entweder an derselben Stelle, wo sie früher saßen, wenn sie nämlich nicht ganz gelöst waren, oder aber, wenn dies geschehen war, an beliebiger Stelle. Andere solcher eingeschlossenen Kristalle dagegen waren unlöslich. In einem Aufsatze: On the existence of crystals with different primitive forms and physical properties in the cavities of minerals usw. [1845] London. Edinb. and Dublin Philos. Mag. and Journ. of Science Bd. 31. 497. 1847[4]) beschreibt er auch eine Reihe von ihm daran beobachteter Kristallformen und untersucht ihre optischen Eigenschaften. Er glaubte, wenn er die optischen Vektoren im umschließenden Kristall parallel mit den Schwingungsebenen der Polarisatoren stellte, zwei reguläre, also isotrope Spezies unter den in den Flüssigkeitseinschlüssen befindlichen Kristallen zu entdecken, von denen die eine leicht, die andere nicht schmelzbar war; und drei anisotrope, von denen die eine leicht, die zweite schwer, und die dritte unschmelzbar war. — In einem Quarz von Quebec fand Brewster Flüssigkeitseinschlüsse mit den Eigenschaften des Wasser, worin Kristalle von Kalkkarbonat schwammen.

Nach den Untersuchungen von H. Davy erwies sich die Flüssigkeit in den Amethysten von Schemnitz als reines Wasser mit Spuren gelöster alkalinischer Sulfate, in den aus Chalcedonen isolierten Flüssigkeiten entstand durch Silbernitrat oder Chlorbarium eine kaum merkliche Trübung. — In einem Bergkristall von La Gardette (Dauphiné) fand sich eine braune, klebrige Flüssigkeit mit großer Blase; erstere wurde fest und opak bei 13°,3 C. Nach Durchbohrung drang das Wasser sofort ein, erfüllte den ganzen Raum und wurde trübe. Die eingeschlossene Flüssigkeit schwamm auf Wasser, roch nach Naphtha und verbrannte mit weißlichem Rauch.

---

[1]) Otti R. Acad. Sc. Torino. **42.** 1907. 261.
[2]) Zentralbl. f. Min. usw. 1920. 143—148.
[3]) S. M. A. 1920. 321—328.
[4]) S. auch Transact. Edinb. Roy. Soc. **16.** 1849. 11—22.

Eine von W. Nicol[1]) gemachte Beobachtung, wonach die aus Baryt und Fluorit infolge des hohen Drucks austretende Flüssigkeit zu Baryt und Fluorit ohne merkliche Volumabnahme kristallisierte, ist bis jetzt nicht bestätigt. In den Flüssigkeitseinschlüssen des Steinsalzes fand er $MgCl_2$ und wenig $CaCl_2$[2]). Diese Steinsalzeinschlüsse sind nach Sorby meistens ohne Libelle, ganz mit Fluidum und mit Schlamm erfüllt, oder enthalten nur eine sehr kleine Libelle. Ähnlich lagen die Verhältnisse bei Calcit aus Tuffen, Gängen von Trappgesteinen, ferner bei Fluorit, Baryt, Cölestin und anderen Gangvorkommnissen, sodaß bei Bildung dieser Einschlüsse, wenn man nicht sehr hohen Druck dabei voraussetzen will, eine normale Temperatur herrschen mußte, die jedenfalls nicht die des kochenden Wassers überschreiten konnte. In Quarzen aus Gängen und Adern fand er Flüssigkeitseinschlüsse, deren Inhalt sich als reines Wasser mit einem zwar wechselnden aber geringen Gehalt an Chloralkalien, Alkali- und Kalksulfaten und freier Salzsäure herausstellte. Ebenso fand Sorby im Quarz, Feldspat und Glimmer der granitischen Gesteine, sowie in manchen Mineralien der Somma-Auswürflinge, die Flüssigkeit in den Hohlräumen als eine stark wässerige Lösung der genannten Salze, denen sich noch hier und da freie Schwefelsäure zugesellte.

Eine weitere Reihe von interessanten Beobachtungen über die physikalischen Eigenschaften mancher Flüssigkeitseinschlüsse in Edelsteinen veröffentlichte Sorby in einem Aufsatz: On the Structure of Rubies, Sapphires, Diamond and some other minerals by H. C. Sorby and P. J. Butler. Proc. Roy. Soc. Nr. 109. 1869. 291—302.

Gümbel fand in dem Wasser der Enhydros, das er vor dem Zertrümmern des Steins gefrieren ließ, mikroskopische Kristallisationen von Quarz und Chlorit. Der Trockenrückstand des Wassers betrug 0,04 %, von dem etwa 16 % in Wasser löslich waren. Ferner wurden nachgewiesen: Kohlensäure, Schwefelsäure, Chlor, Kalk, nebst geringen Mengen von Kali und Natron, sowie Spuren von Eisen und Magnesia. Der in Wasser unlösliche Rest war zu $^9/_{10}$ in verdünnter Salzsäure löslich und bestand aus kohlensaurem Kalk nebst geringen Mengen von Gips. Das in Salzsäure ungelöste Zehntel erwies sich der Hauptsache nach als Kieselsäure. Eine schwach bräunliche Färbung der Flüssigkeit beim Eintrocknen wird auf die Anwesenheit von organischen Stoffen zurückgeführt.

Das Vorhandensein kristallinischer Ausscheidungen mannigfacher Art in den Flüssigkeitseinschlüssen sehr verschiedener Mineralien ist von den verschiedensten Forschern nachgewiesen. Zu erwähnen ist besonders die auffallende Verbreitung von würfelähnlichen Kristallen in den Flüssigkeitseinschlüssen des Quarzes der verschiedensten kristallinen Gesteine und mancher anderer Mineralien (Taf. XII Fig. 6). Zirkel[3]) hat es für

[1]) Edinb. New. Philos. Journ. **5.** 1828. 94—96. Pogg. Ann. **13.** 1828. 510—513.
[2]) Edinb. New. Philos. Journ. **7.** 1828. 111—113. Pogg. Ann. **18.** 1830. 606—607.
[3]) N. J. 1870. 804.

diese Würfelchen in den Flüssigkeitseinschlüssen eines Quarzes von Laurvik sehr wahrscheinlich gemacht, daß sie Kochsalz seien, und man hat sich daran gewöhnt, sie als Chlornatriumwürfel zu bezeichnen. Indessen konnte schon Vogelsang bei gewissen derartigen Vorkommnissen spektralanalytisch keine Alkalien nachweisen; er war geneigt, diese Gebilde für Quarzrhomboëder zu halten. Bei Erwärmung von Präparaten eines Granitporphyrs von Rothau, Elsaß, zeigte Rosenbusch, daß erst bei 70° C. eine Lösung der Würfelchen begann, die mit zunehmender Temperatur rasch weiter schritt. Das widerspricht den bekannten Löslichkeitsverhältnissen des Chlornatriums. — In seltenen Fällen findet man andere kristalline Ausscheidungen in den Flüssigkeiten; so beobachtete z. B. Sorby Alkalikarbonate im Idokras der Somma, Zirkel Nadeln, die er für Amphibol hält, neben Würfelchen im Quarz des Granitgneises von Rawlings Peak, Wyoming.

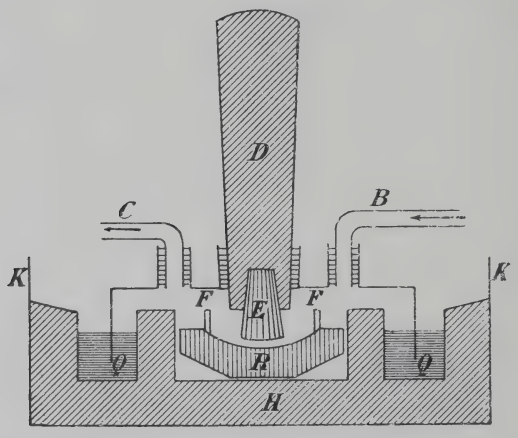


Fig. 678.
Reibschale mit Luftabschluß nach Fr. Pfaff.

H. C. Sorby ahmte diese Erscheinungen künstlich nach und gab dadurch ihre Erklärung. Er ließ bei normaler Temperatur Kochsalz aus einer Lösung auskristallisieren, die mit Kaliumbichromat versetzt war; die Kristalle enthielten gelbe Flüssigkeitseinschlüsse. Sättigte er die Lösung bei höherer Temperatur mit beiden Salzen und ließ bei derselben hohen Temperatur kristallisieren, so bildeten sich dieselben Einschlüsse; erkalteten aber dann die Kristalle und verminderte sich dadurch die Lösungsfähigkeit der eingeschlossenen Flüssigkeit für das doppeltchromsaure Kali, so schieden sich allmählich Kristalle dieses Salzes in den Flüssigkeitseinschlüssen aus. Ließ er dagegen die bei 100° C. gesättigte Lösung bei abnehmender Temperatur kristallisieren, so lagen die ausgeschiedenen Kristalle von Kaliumbichromat nicht in den Flüssigkeitseinschlüssen, sondern ragten aus ihnen heraus in die Kristallmasse ihres Wirtes hinein. Die Bedingungen, unter denen aus Flüssigkeitseinschlüssen

kristallinische Ausscheidungen stattfinden, sind also ganz analog denen, unter denen ein Glaseinschluß zu einem entglasten Einschluß (stonecavity) wird. Ganz ebenso können endlich auch aus Dampfporen kristallinische Ausscheidungen entstehen, wenn die eingeschlossenen Sublimationsprodukte sich abkühlen. Sorby fand dieselben wirklich in den genannten Poren der Nepheline in den Somma-Auswürflingen.

Um die Menge des in Flüssigkeitseinschlüssen vorhandenen Wassers, das die mikroskopische Untersuchung dargetan hatte, auch direkt nachzuweisen, konstruierte Fr. Pfaff[1]) einen in Fig. 678 abgebildeten kleinen Apparat, bei dem er die in einer Reibschale R erfolgende Zerkleinerung unter Luftabschluß vornahm. Das Pistill ED ist mit einer Manschette FF umgeben, deren äußerer Rand in eine mit Quecksilber Q gefüllten Rinne KHK taucht und dabei genügende Bewegungsfreiheit zum Pulvern behält. Ein trockener Luftstrom tritt bei B ein und wird, mit Wasserdampf beladen, durch C in die Absorptionsgefässe geleitet. Pfaff untersuchte mehrere Mineralien und Gesteine, wie Feldspat, Quarz, Flußspat, Granite, Gneise, Glimmerschiefer, Syenite, Porphyre von Kreuznach und Bozen, Laven, Obsidian und Basalt. Von diesen gaben Laven, Obsidian und Basalt ein negatives Resultat, alle andern ein positives, und zwar wechselte dieser Gehalt an mechanisch eingeschlossenem Wasser von einem Minimum von 0,11 % im Syenit von Meißen bis 1,8 % im Glimmerschiefer von Davos. Von Basalten kam übrigens nur einer von Monte Gergovia bei Clermont zur Untersuchung. Da die untersuchten Proben zuvor geglüht waren, so konnte das gefundene Wasser nicht hygroskopisch sein.

Dritte Abteilung.

Aggregate.

227. Einteilung der Aggregate. Das Charakteristische der Aggregate liegt in der Anhäufung von Individuen ohne Rücksicht auf kristallographische Gesetzmäßigkeiten; sie können aus einer Mineralspezies bestehen oder sich aus beliebig vielen zusammensetzen, wonach man homogene und heterogene Aggregate unterscheidet. Nur die ersteren wollen wir hier betrachten, während das Studium der letzteren der eigentlichen Gesteinskunde zukommt. Bei den homogenen Aggregaten trennt man wieder die regellosen von den regelmäßig gebildeten und bezeichnet die letzteren wegen der am häufigsten vorkommenden äußeren Gestalt wohl auch als kugelige Aggregate. Solche Massen bestehen meistens aus amorpher Substanz, die durch Spannung Doppelbrechung und individuelle Teilungen erhalten hat; sie sollen als eigentliche Sphärolithe bezeichnet werden.

[1]) Pogg. Ann. **143.** 1871. 610—620.

Andere setzen sich aus kristallinen Massen in konzentrisch-schaliger oder radialstrahliger Anordnung zusammen und mögen hier als eigentliche Sphärokristalle vereinigt werden. Auch finden sich sehr häufig Anordnungsformen, bei denen die konzentrischen Schalen der Sphärokristalle aus radial gestellten Individuen zusammengesetzt sind, während kugelige Aggregate, bei denen eine radiale oder konzentrische Anordnung nicht hervortritt, sich seltener finden. Das Charakteristische des Unterschieds zwischen Sphärolithen und Sphärokristallen ist also hier in die amorphe, durch Spannung doppelbrechend gewordene Natur der Sektoren bei den ersteren und die Kristallnatur der Fasern bei den letzteren gelegt worden. Verwechslungen werden bei der Feinheit, die diese Gebilde vielfach annehmen, nicht zu vermeiden sein, auch sind Übergangsbildungen nicht ausgeschlossen. Eine besondere Gruppe bilden die in Paragraph 231 besprochenen Granosphärite.

228. Regellose Aggregate. Die vollständig regellos geordneten Aggregate zeichnen sich infolge dieser ungesetzmäßigen Anordnung dadurch aus, daß auch die optische Orientierung in den einzelnen aggregierten Individuen je eine andere ist. Betrachtet man daher ein solches Aggregat zwischen gekreuzten Nicols, so kann niemals die Auslöschung für alle Individuen gleichzeitig eintreten, sondern diese werden nach Dicke, Lage des Schnitts gegen ihre optischen Vektoren und Neigung ihrer Hauptschnitte gegen diejenigen der Nicols verschiedene Farben, oder verschiedene Lichtstärke zeigen, in welche Stellung man das Aggregat auch zu den Nicolhauptschnitten bringt. Die Grenzen der einzelnen, das Aggregat bildenden Individuen, die im gewöhnlichen Licht oft kaum oder gar nicht sichtbar sind, treten zwischen gekreuzten Nicols deutlich hervor, falls die Individuen doppelbrechend sind, und lassen dann ihre Anordnungsform, d. h. die Textur des Aggregats erkennen (Taf. IV Figuren 5 und 6). Werden diese doppelbrechenden Individuen so klein, daß man sie im Mikroskop einzeln nicht mehr erkennen kann, so macht sich zwischen gekreuzten Nicols ihr optisches Wesen durch eine diffuse Aufhellung des Gesichtsfeldes bemerkbar, die man als Aggregatpolarisation bezeichnet.

Die Textur der amorphen oder aus regulär kristallisierenden Individuen bestehenden Aggregate läßt sich mikroskopisch im allgemeinen nur dann bestimmen, wenn dieselben durch mechanische Ursachen doppelbrechend geworden sind; sie verhalten sich dann wie kristalline Aggregate nicht regulärer Körper. Fehlt die anomale Doppelbrechung, so kann man die Textur gelegentlich aus den gesetzmäßig eingelagerten Interpositionen erkennen.

229. Sphärolithe. Denkt man sich ein kugeliges Aggregat einer amorphen Substanz aus konzentrischen Schalen aufgebaut, deren jede äußere infolge des Eintrocknens auf jede innere einen Druck ausübt, so werden die Spannungsverhältnisse in jeder Radialfaser derart verteilt sein,

wie dies Fig. 679 andeutet. Es wird also die Substanz in der Richtung $a_1\, a_2$ zusammengedrückt und in der Richtung $b_1\, b_2$ auseinandergezerrt. Außerdem aber nimmt die Dichte aller Fasern mit der Annäherung an das Zentrum des Sphärolithen zu, da über dieses Zentrum viel mehr Schalen ihre Kräfte spannen als über peripherisch liegende Teile. — Wie nun infolge dieser Spannungsverhältnisse die optischen Vektoren sich in jeder Faser darstellen, ist ohne weiteres nicht zu entscheiden. Wenn die amorphen Körper sich alle wie Glas oder Gelatine verhalten und also wie diese in der Richtung des einseitigen Druckes eine Vergrößerung der optischen Vektoren erfahren sollten, so würden die unter den eben geschilderten Spannungsverhältnissn stehenden Fasern oder Sektoren den größeren optischen Vektor in der Längsrichtung $a_1\, a_2$ zeigen, d. h., mit einachsigen Kristallen verglichen, optisch negativ werden.

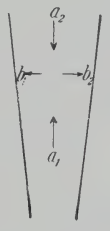


Fig. 679.

Angenommen, die einzelnen Radialfasern eines Sphärolithen seien, wenn man sie mit einachsigen Kristallen vergleicht, optisch negativ, und es werde ein zentraler Schnitt untersucht, dann muß dieser bei der Beobachtung zwischen gekreuzten Nicols im parallelen polarisierten Licht in vier helle Quadranten zerfallen, die von einem dunkeln Kreuz getrennt werden, dessen Arme senkrecht zu einander und parallel den Nicolhauptschnitten liegen. Die Erscheinung entsteht dadurch, daß eine Zerlegung des vom Polarisator kommenden Lichtes in denjenigen Individuen nicht stattfindet, deren Hauptschnitt (hier parallel der Prismenachse) parallel oder senkrecht zu demjenigen des Polarisators steht. Dreht man einen solchen Sphärolithen in seiner Ebene, so werden bei jeder Stellung Individuen so liegen, daß ihre Hauptschnitte die angegebene Lage haben, und bei jeder Stellung wird demnach das dunkle Kreuz den Nicolhauptschnitten parallel laufen [1]). — Die hellen Quadranten sind durch die Zerlegung des vom Polarisator kommenden Lichtes in denjenigen Individuen bedingt, deren Hauptschnitte schief gegen den Hauptschnitt des Polarisators liegen. Die Farbe dieser Quadranten ist abhängig von der Größe

[1]) H. Rosenbusch, Z. D. G. G. **28.** 1876. 386; ferner A. Michel-Lévy, Bull. Soc. Géol. Fr. (3) **5.** 1877. 257—266.

des Unterschieds der Vektoren parallel und senkrecht zur Prismenachse der einzelnen Individuen, und die Helligkeit wechselt mit dem Neigungswinkel der Hauptschnitte in den Individuen gegen den Polarisatorhauptschnitt. Sie erreicht nach der Fresnelschen Formel (s. § 47) ihr Maximum, wenn dieser Winkel 45° beträgt und nimmt nach beiden Seiten allmählich ab bis zu vollkommener Auslöschung für die Werte 0° und 90° dieses Winkels. Es gehen daher die dunkeln Kreuze allmählich in die hellen Quadranten über. Die Erscheinungen sehen etwa so aus, wie sie in Taf. XIV Fig. 3 abgebildet sind, nur sind nach unserer Definition die dortigen Oolithkörner nicht Sphärolithe sondern Sphärokristalle. Besteht der Sphärolith aus eingetrockneter amorpher Substanz, so nimmt, wie schon oben gesagt, die Doppelbrechung nach der Mitte hin, wegen der zentripetalen Verdichtung, zu, und daher müssen die Interferenzfarben in den Quadranten mit der Annäherung an das Zentrum steigen; es kann hier, wenn die Verdichtung sehr stark ist, bis zur Bildung isochromatischer Kurven kommen, also zu Erscheinungen im parallelen Licht, die man sonst nur im konvergenten Licht wahrzunehmen gewohnt ist. Diese Ringe zeigen sich am vollkommensten, wenn der Sphärolith am deutlichsten sichtbar ist, wenn also das Mikroskop genau auf ihn eingestellt ist; schon dadurch unterscheiden sich diese Erscheinungen von den scheinbar so ähnlichen Phänomenen bei den eigentlichen Sphärokristallen, von denen im folgenden Paragraphen die Rede ist. Nicht genau zentrische Schnitte durch derartige kugelige Aggregate zeigen dieselben Erscheinungen in weniger präziser Form.

Der optische Charakter der sphärolithbildenden Substanzen läßt sich nach den in den Paragraphen 146—151 und 166—169 besprochenen Methoden ebenso wie derjenige von Kristallen bestimmen.

Sind die Individuen eines kugeligen Aggregats nicht um einen Punkt, sondern um eine Linie oder Fläche gruppiert, so entstehen verzerrte Sphärolithe, die F. Zirkel Axiolithe genannt hat, deren dunkles Kreuz zwischen gekreuzten Nicols nur in vier bestimmten, zueinander senkrechten Stellungen geschlossen sein kann, während es sich bei einer Drehung des Schnittes in seiner Ebene in jeder andern Lage öffnen muß. Nicht gespannte kugelige Aggregate amorpher Substanzen erscheinen zwischen gekreuzten Nicols, wie jeder amorphe Körper, vollständig dunkel.

Es werden auch Sphärolithe beschrieben, bei denen die einzelnen Fasern um ihre jeweilige Achse schraubenförmig gedreht sind. Diese Gebilde haben u. a. B. Popoff[1]), F. Wallérant[2]), E. Kalkowsky[3]), P. Gaubert[4]) unter Beigabe schöner Photographien beschrieben.

---

[1]) T. M. P. M. **23.** 1904. 153—179.

[2]) Bull. Soc. Min. Fr. **30.** 1907. 43—60.

[3]) Z. D. G. G. **60.** 1908. 68—125.

[4]) Bull. Soc. Min. Fr. **32.** 1909. 421—437; **36.** 1913. 45—64.

230. Sphärokristalle. Radiale und konzentrische kugelige Aggregate treten bei den verschiedensten Mineralien auf, z. B. bei Calcit (Oolith) (Taf. XIV Fig. 3) und anderen Karbonaten (Taf. XIV Fig. 2), Quarz (Chalcedon, Opal) (Taf. XIV Fig. 1), Chlorit, Delessit, Feldspat usw.; ja gewisse Substanzen kennen wir kaum in anderer Form als in derjenigen der Sphärokristalle, wie z. B. das übersaure Alkalitonerdesilikat, das sich bei porphyrischer Entwicklung saurer Eruptivmagmen nach Ausscheidung der Kristalle älterer Generationen bildet und z. T. für sich allein, z. T. mit Kieselsäure gemengt, den Namen Mikrofelsit führt. Das Studium dieser sphärischen Aggregate geht bis auf Brewster und bis ins Jahr 1815 zurück, und wir finden bereits bei diesem Forscher Schilderungen des tatsächlichen optischen Verhaltens solcher Aggregate, Methoden zur Bestimmung ihres optischen Charakters und Hypothesen über ihre Bildung, die bei späteren Mineralogen in derselben oder in weiter gebildeter Form wiederkehren. Die Sphärokristalle der Mikrofelsite sind teils positiv teils negativ doppelbrechend. Ob die letzteren aus Feldspat mit Entwicklung nach der a-Achse bestehen, ist schwierig zu beweisen. Die petrographische Verbreitung dieser sphärischen Aggregate ist besonders durch Stelzner, Vogelsang, Zirkel, Gümbel, Loretz, Zepharovich u. a. näher verfolgt worden.

Die einen Sphärokristall zusammensetzenden Nadeln sind nicht immer einfache Kristallnadeln, sondern vielfach verzweigte Gebilde, die aus einer einfachen Nadel durch wiederholte Spaltung in zwei oder mehr, unter kleinen Winkeln divergierende Äste entstehen, welch letztere sich ihrerseits in derselben Weise weiter gabeln. Die Gabelung einer wachsenden Kristallnadel, zumal in zäher Lösung, und Zwischenformen zwischen Trichitengruppen und Sphärokristallen wurden mehrfach bei der Kristallisation organischer Verbindungen von O. Lehmann beobachtet, der die Bildung der Sphärokristalle analog derjenigen der Trichite zu erklären versucht[1]). — Nur wenn die einen Sphärokristall zusammensetzenden Kristallnadeln einen nicht zu unbedeutenden Querdurchmesser haben, pflegen sie ungegabelt zu bleiben. Man darf mit einiger Wahrscheinlichkeit für solche Formen einen langsameren und gleichmäßigeren Verlauf des Kristallisationsprozesses annehmen und dies um so mehr, als zwischen solchen Sphärokristallen und knäuelartigen Verwachsungen größerer Kristalle mannigfache Zwischenformen zu beobachten sind. Sphärokristalle und knäuelartige Verwachsungen von größeren Kristallen haben ferner die Eigentümlichkeit gemein, daß sie sich gern an Kristalle und Kristallfragmente ihrer eigenen Art ansetzen.

Für die Übergänge von Sphärokristallen zu knäuelartigen Kristallgruppen dürften wenige Gesteine besseres Material liefern, als die Diabase und Porphyrite in variolitischer Ausbildungsform. Taf. XIV Fig. 5

[1]) Gute photographische Abbildungen solcher Gebilde von Schwefel finden sich bei R. Brauns. N. J. B. B. **13.** 1899/1901. Taf. 5 und 8.

zeigt solche Übergänge bei den Feldspäten eines kaukasischen Trachytgesteins. — Während die Trichitenbildung in den Gesteinen im allgemeinen auf die eisenreichen, basischeren Gemengteile und damit auf relativ ältere Perioden in der Entwicklungsgeschichte eines Gesteins beschränkt zu sein scheint, trifft man die Sphärokristallbildung vorwiegend bei eisenfreien, sauren, feldspatigen oder feldspatähnlich zusammengesetzten Verbindungen und in den letzten Perioden der Gesteinsbildung an.

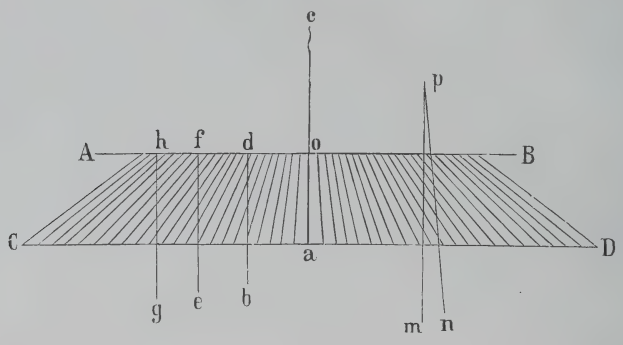


Fig. 680.

Bei einer gewissen Gruppe von Sphärokristallen, die sich aus radialen Aggregaten optisch einachsiger Kristalle aufbauen, treten im parallelen polarisierten Licht eigentümliche Erscheinungen auf, die zuerst von M. Websky, sowie später von F. Fouqué wahrgenommen und von ersterem [1]) auch lange vor E. Bertrand [2]) und E. Mallard [3]) erklärt wurden. Beobachtet man nämlich einen nicht zentrischen Schnitt durch ein solches Aggregat so, daß nicht der Schnitt selbst scharf eingestellt ist, sondern ein Punkt einer Ebene, in der sich auch das Zentrum des Sphärokristalls befindet, so sieht man bei gekreuzten Nicols ein Interferenzkreuz und isochromatische Ringe wie bei optisch einachsigen Kristallen (Taf. XIV Figuren 1 und 2). — Es sei *A B C D* in Fig. 680 ein Schnitt durch einen Sphärokristall einer optisch einachsigen Substanz, dessen Zentrum bei *c* liege und der in homogenem Licht zwischen gekreuzten Nicols beobachtet werde. Die vom Polarisator kommenden Wellennormalen *g h, e f, b d* usw. werden in dem Sphärokristall in je zwei senkrecht zueinander schwingende Wellennormalen zerlegt, die bei *d, f, h* mit einer bestimmten Phasendifferenz austreten, die abhängig ist von dem Unterschied der optischen Vektoren parallel und senkrecht zum Hauptschnitt und von dem sich stetig ändernden Winkel, den die

[1]) Z. D. G. G. **10.** 1858. 288.

[2]) Bull. Soc. Min. Fr. **3.** 1880. 58—62, 93—96; **4.** 1881. 60—61. C. R. **94.** 1882. 542—543.

[3]) Bull. Soc. Min. Fr. **4.** 1881. 66—71.

Wellennormalen je mit der Längsrichtung der Sphärokristallnadeln, d. h. mit deren optischen Achse machen. Beträgt diese Phasendifferenz bei d etwa 1λ, so tritt an dieser Stelle Dunkelheit ein und dasselbe muß bei regelmäßigem Bau des Sphärokristalls in jedem Punkt der Fall sein, der von o um die Länge do abliegt. Es muß also um o herum im homogenen Licht ein dunkler Kreis von dem Radius od entstehen. Ebenso bilden sich weitere dunkle Kreise an den entfernteren Stellen, wo der Gangunterschied 2λ, 3λ usw. beträgt. In weißem Licht sieht man natürlich statt der abwechselnden hellen und dunkeln Kreise farbige, wie dies bei den Phänomenen von Kristallplatten im konvergenten polarisierten Licht (§ 54) erklärt wurde. Die radialstrahlig angeordneten Individuen haben zum parallelen Licht relativ die gleichen Lagen, wie parallel gestellte Individuen (ev. homogene Kristallplatten) zum konvergenten Licht. Das dunkle Kreuz, das parallel den Nicolhauptschnitten die isochromatischen Kurven schneidet, ergibt sich auch hier aus dem Umstand, daß polarisierte Wellen in doppelbrechenden Medien eine Zerlegung nicht erfahren, wenn ihre Schwingungsebenen parallel oder senkrecht zu deren Hauptschnitt liegen. — Um nun diese farbigen Kurven sehen zu können, muß man das Mikroskop nicht auf einen Punkt h, f, d, d. h. auf die Oberfläche des Schnitts einstellen, weil hier außer den senkrecht auffallenden Wellennormalen auch eine Anzahl anderer austreten, die den Schnitt in schiefer Richtung durchlaufen, also andere Phasendifferenz haben. Man muß vielmehr die Einstellung auf solche Punkte vornehmen, wo sich möglichst viele Wellennormalen von gleicher Phasendifferenz schneiden. p ist ein solcher Punkt, wenn die Phasendifferenz der sich unter sehr kleinem Winkel schneidenden Wellennormalen mp und np gleich ist. Jedenfalls ist c ein solcher Punkt, weil alle sich in demselben schneidenden Wellennormalen den Sphärokristall parallel der optischen Achse durchlaufen, also eine Phasendifferenz $= o$ haben. Daraus ergibt sich, daß der Ort aller Punkte p eine Fläche ist, die auf derselben Seite des Schnittes liegt, auf der sich das Zentrum des Sphärokristalls befindet. Liegt dieses also über dem Schnitt, so muß man das Objektiv heben; liegt dagegen das Zentrum des Sphärokristalls unterhalb der Schnittfläche, so muß man das Objektiv von der Einstellung auf die Oberfläche aus senken, um die Interferenzfigur wahrzunehmen. — Den optischen Charakter der Sphärokristalle kann man an solchen Interferenzbildern in derselben Weise im parallelen Licht bestimmen, wie bei den Interferenzfiguren einachsiger Platten im konvergenten Licht. So findet man den optischen Charakter vieler Sphärokristalle in den sauren Ergußgesteinen positiv und also den Charakter der einzelnen Faser auch positiv, da diese aus Quarzfäden bestehen. Dagegen zeigen die Sphärokristalle der Variolite (de la Durance) in den einzelnen Fasern negativen Charakter, da sie der Hauptmasse nach aus Oligoklasmikrolithen bestehen, die nach der a-Achse langgestreckt sind [1]), und a nahezu parallel $\mathfrak{a}$ haben.

[1]) M.-Lévy, C. R. **94.** 1882. 464—466.

Radiale Aggregate des monoklinen oder triklinen Systems müssen, wenigstens was das dunkle Kreuz betrifft, dieselbe Erscheinung wahrnehmen lassen, nur sind die Arme des dunkeln Kreuzes im allgemeinen nicht parallel den Nicolhauptschnitten, sondern gegen diese unter einem Winkel geneigt, der von der Lage ihres optischen Hauptschnittes gegen ihre Längsrichtung abhängt. Man kennt homogene sphärische Aggregate solcher Substanzen bis jetzt vorwiegend bei gewissen triklinen Feldspäten (Oligoklas in Varioliten), bei denen die Neigung des optischen Hauptschnittes zur Längsrichtung der Säulchen nahezu oder genau 0° beträgt. Wo sie vereinzelt bei Augit in Diabasen, bei Epidot in kristallinen Schiefern auftreten, zeigen sie das angegebene Verhalten.

Kuglige Aggregate kristallisierter Substanzen, in denen alle Individuen parallel liegen, müssen sich wie einheitliche Kristalle verhalten, also in ihrer ganzen Ausdehnung bei vier zueinander senkrechten Stellungen dunkel, in jeder anderen farbig hell werden. Solche Sphärokristalle, die man besonders oft als büschelförmige Ansätze an Kristallen oder Kristallfragmenten derselben Substanz findet, bilden die sphérolithes à extinction der französischen Petrographen[1]). Dieselben können natürlich, wie jedes kugelige Aggregat, mehr oder weniger von amorphen Massen durchwachsen sein, ohne daß die Erscheinungen wesentlich andere werden.

C. Klein[2]) wollte den Ausdruck Sphärokristall durch sphärisches Kristallaggregat ersetzt sehen, weil es sich ja in der Tat nicht um ein einheitliches Kristallgebäude handelt, dessen Eigenschaften Funktionen der Richtung sind. Eine weitere Einteilung der Sphärokristalle hat G. Quincke[3]) bei seinen Studien über die Schaumstruktur des Schwefels gegeben.

231. Granosphärite. Eine nicht sehr seltene und unter den verschiedensten Entstehungsbedingungen sich bildende Form der kugeligen Aggregate ist diejenige, bei der die einzelnen, das Aggregat bildenden Individuen regellose Körnerform besitzen, deren Dimensionen bisweilen im Zentrum größer sind, als an der Peripherie des Aggregats, oder umgekehrt. Derartige kugelige Aggregate zeigen die Erscheinungen der gewöhnlichen Aggregatpolarisation im polarisierten Licht und werden Granosphärite (Taf. XIV Fig. 4) genannt, im Gegensatz zu den radialen

[1]) M.-Lévy, C. R. **94.** 1882. 465. — Dies ist wohl die gleiche Erscheinung, die M.-Lévy in seinen Minéraux des roches, S. 72 als „quartz globulaire" erwähnt. In dem Berwerthschen Werk „Mikroskopische Strukturbilder der Massengesteine", Stuttgart 1900, sind diese Wachstumsformen bei einem pseudosphärolitisch-granophyrischen Quarzporphyr von Detzeln bei Bonndorf in Baden zu finden; allerdings sieht man das charakteristische Verhalten im polarisierten Licht weniger am Bild als an dem in der Heidelberger Sammlung befindlichen Originalschliff.

[2]) Studien über Meteoriten. Abh. Berlin. Akad. 1906. 36.

[3]) Ann. Phys. (4). **26.** 1908. 625—711; Ref. Z. X. **49.** 1911. 307.

oder schaligen Sphärolithen. Manche äußerlich den Oolithen ähnelnde Kalksteine zeigen derartige Aggregate von Kalkkörnern, die Cohen Pseudo-Oolithe genannt hat; in manchen Porphyren tritt der Feldspat zweiter Generation in dieser Ausbildung auf. Michel-Lévy hat gezeigt, daß kugelige Aggregate, die aus amorpher Substanz und tangential geordneten prismatischen Individuen aufgebaut sind, bedingungsweise den Granosphäriten analoge Polarisationserscheinungen in ihrem Zentrum zeigen können. Die Besprechung des Gegenstandes gehört in die Gesteinslehre.

Vierte Abteilung.

Deformationen.

Außer den in Paragraph 209—214 besprochenen, sich aus den Entstehungsbedingungen der Kristallisationen ergebenden Formen-Anomalien macht uns das Mikroskop mit einer Anzahl weiterer Deformationen bekannt, die durch spätere, erst nach Vollendung des Kristalls eintretende, also auf das fertige Individuum wirkende, mechanische und chemische Prozesse bedingt werden.

232. Zu den mechanischen Deformationen der Kristalle in Gesteinen gehören die in den porphyrischen Felsarten so häufigen Knickungen und Zerbrechungen der älteren Ausscheidungen, der sog. Einsprenglinge. Die Bruchflächen sind an ihrem unregelmäßigen, krummen oder zackigen Verlauf, der in keinerlei Beziehung zur Kristallform der Substanz steht, kenntlich. Oft sieht man in einem Präparat nur die eine Hälfte des zerbrochenen Individuums; in glücklichen Fällen finden sich beide Hälften oder bei weitergehender Zerbrechung alle Bruchstücke in demselben Schliff in kleinerer oder größerer Entfernung voneinander, und man kann sich dann leicht durch den Augenschein von dem Zusammenpassen der Bruchränder überzeugen. Es liegt in der Natur der Sache, daß diese Zerbrechungen mit Vorliebe an säulenförmigen (Hornblende, Augit usw.) und tafelförmigen Kristallen (Feldspat) auftreten und ebenso, daß die Bruchflächen annähernd senkrecht zur Längsrichtung oder Tafelfläche liegen. Weit seltener zeigen nach allen Richtungen gleich ausgebildete Kristalle (Quarze, Olivine usw.) derartige Zerbrechungen. Auch ist es leicht verständlich, daß biegsame Mineralien, wie Glimmerblättchen, anstatt der Zerbrechungen Verbiegungen zeigen; Taf. XV Fig. 1 stellt einen verbogenen Glimmer dar. Die Ursache dieser Deformationen ist mit großer Sicherheit in der Bewegung der nach Ausscheidung der Kristalle noch zähflüssigen Eruptivmasse zu sehen, die fest an den schwimmenden Einsprenglingen adhärierte.

Eine andere Gruppe durch mechanische Vorgänge bedingter Deformationen von Gesteinsgemengteilen wird besonders in stark gefalteten Gebirgen angetroffen und ist offenbar durch die dynamischen Vorgänge bei der Gebirgsbildung veranlaßt. Da diese Deformationen sich unter allseitigem Druck im festen Gestein vollzogen haben, so machen sie sich im allgemeinen nicht durch eine starke Veränderung der äußeren Begrenzung, sondern mehr durch eine innere Verschiebung der Teile eines Kristalls gegeneinander bemerkbar. Man nimmt diese Deformationen daher oft erst im polarisierten Licht an der mehr oder weniger abweichenden optischen Orientierung der Kristallteile wahr. Aus der großen Mannigfaltigkeit der einschlägigen Phänomene seien nur einige wenige, durch ihre Häufigkeit wichtige Erscheinungen hervorgehoben. Dahin gehören z. B. die Biegungen der Zwillingslamellen in den triklinen Feldspäten (Taf. XIV Fig. 6), die, sobald die Elastizitätsgrenze überschritten ist, in mikroskopische Verwerfungen übergehen. — Feldspat und Quarz zeigen oft eine in den einzelnen Teilen der Kristalle sich stetig ändernde Lage der Vektoren, die sich bei Drehung zwischen gekreuzten Nicols durch die schattenartig über den Durchschnitt hinhuschende Auslöschung kundgibt. Man bezeichnet diese wohl als undulöse Auslöschung. Bei noch stärkerem Druck werden die Kristalle in sich selbst mehr oder weniger zertrümmert (Taf. XV Figuren 2 u. 3), und es können dann auch durch die Gesteinsauswalzung die Kristallumrisse mehr oder weniger, ja vollkommen verwischt werden (Taf. XV Figuren 4 u. 5). Es ist mehr als wahrscheinlich, daß die sog. Mörtelstruktur mancher kristalliner Schiefer durch derartige Vorgänge, die eine randliche Zerreibuug größerer Individuen bewirkten, bedingt ist. Für die Lehre von der mechanischen Umformung der Gesteine, zumal für das viel diskutierte Kapitel über Biegung mit Bruch oder Biegung ohne Bruch ist die Tatsache sehr wichtig, daß nicht nur die biegsamen Gesteinselemente, wie Glimmer, sondern auch die spröden, wie Quarz, bruchlose Deformationen in vielen Fällen erkennen lassen. Eine in stark gepreßten Gesteinen gar oft zu machende Beobachtung ist es, daß die in normalem Zustand einachsigen Gemengteile optisch zweiachsig werden. Ebenso dürfte hierher das natürliche Auftreten der Druckfiguren (s. § 174 S. 663) an den Glimmerblättern so mancher Gesteine zu rechnen sein (Taf. XV Fig. 6). — Es bedarf kaum der Erwähnung, daß die letzt besprochenen mechanischen Deformationen sowohl in massigen, wie geschichteten Gesteinen, wenn diese dem gefalteten Gebirge angehören, auftreten können.

233. Chemische Deformationen sind an den älteren Einsprenglingen porphyrischer Eruptivgesteine in mehrfacher Ausbildungsform wahrnehmbar. Es liegt im Kristallbegriff und in den Verhältnissen, unter denen die Einsprenglinge entstanden, daß sie gesetzmäßige Kristallumrisse besitzen müssen; es sind eben schwebende Kristallisationen gewesen. Wo daher die normale äußere Begrenzung fehlt, muß sie durch

sekundäre Einwirkungen verloren gegangen sein. Da nun die Bildung dieser Einsprenglinge einem frühen Stadium der Gesteinsgeschichte angehört und nach den Gesetzen verläuft, die für Kristallisationen aus gemischten Lösungen gelten, so ist zunächst vorstellbar, daß bei Änderungen im chemischen Bestand oder in dem physikalischen Zustand der Mutterlaugen (Gesteinsmagmen) die älteren Ausscheidungen nicht mehr bestandfähig sind, sondern sich wieder auflösen müssen, um andern Kristallisationen Platz zu machen. Es werden diese älteren Ausscheidungen alsdann abschmelzen, und aus scharfkantigen Kristallen werden runde Körner, wenn der Prozeß der Resorption früh genug durch abermalige Änderungen im Magma oder durch dessen Erstarren vor vollständiger Auflösung unterbrochen wird. Zumal in den früheren Stadien der Wiederauflösung älterer Einsprenglinge nehmen diese oft höchst auffallende und bizarre Formen an. Eine merkwürdige Erscheinung, die noch nicht mit voller Sicherheit erklärt werden kann, ist es, daß diese Abschmelzungen und Zernagungen in den ersten Stadien so oft einseitig sind, wie dies Taf. XIII Fig. 5 am Quarz, Taf. XIII Fig. 6 am Nosean wahrnehmen läßt. Der Olivin der Basalte und verwandter Gesteine, der Nosean der Phonolithe, der Quarz der porphyrischen Gesteine zeigen besonders häufig derartige Deformationen.

Wird die durch die Magmen korrodierte und gelöste Kristallsubstanz sofort zu kristallinen Neubildungen verwandt, wie das so oft bei den Glimmern und Amphibolen der Eruptivgesteine der Fall ist, dann entstehen keine eigentlich deformierten Kristalle, sondern vom Rande her nach innen wachsende Pseudomorphosen nach den sich lösenden Einsprenglingen.

Anhang.

Tabelle der Brechungsindizes.
Tabelle der Doppelbrechungen.
Tabelle der Dichten.
Tafeln I—XV.
Autoren- und Sachregister.

Tabelle der Brechungsindizes

der wichtigsten gesteinbildenden Mineralien für Natrium-Licht. Bei doppelbrechenden Mineralien ist der Wert $^1/_3$ $(2\ \omega + \varepsilon)$ oder $^1/_3$ $(\alpha + \beta + \gamma)$ oder β angegeben.

Die Zahlen haben vielfach nur die Bedeutung von Durchschnittswerten.

Eis	1.309	Mikroklin	1.523	Anorthit	1.582
Wasser	1.333	Gips	1.524	Mejonit	1.583
Fluorit	1.434	Anorthoklas	1.527	Pennin	1.583
Opal	1.45	Albit	1.533	Thuringit	1.583
Schoenit	1.466	Chalcedon	1.533	Anhydrit	1.587
Tridymit	1.478	Oligoklas-Albit	1.538	Beryll	1.587
Carnallit	1.479	Nephelin	1.539	Muskovit	1.587
Natrolith	1.482	Chrysotil	1.54	Paragonit	1.587
Sodalith	1.483	Phillipsit	1.54	Celsian	1.589
Analcim	1.487	Cordierit	1.540	Delessit	1.589
Hackmanit	1.487	Hyalophan	1.540	Klinochlor	1.589
Hydronephelit	1.49	Oligoklas	1.544	Phlogopit	1.591
Obsidian	1.49	Steinsalz	1.544	Lepidolith	1.598
Sylvin	1.490	Hydrargillit	1.547	Ainigmatit	1.6
Nosean	1.495	Quarz	1.547	Calcit	1.601
Stilbit	1.497	Bastit	1.55	Kataplëit	1.604
Hauyn	1.500	Heulandit	1.550	Melinophan	1.606
Heulandit	1.501	Dipyr	1.551	Pektolith	1.61
Natronsalpeter	1.502	Andesin	1.552	Eudialyt	1.610
Skolezit	1.502	Mizzonit	1.553	Tremolit	1.617
Kainit	1.507	Labrador	1.559	Eukolit	1.620
Leucit	1.508	Kaolin	1.563	Aktinolith	1.622
Thomsonit	1.508	Antigorit	1.567	Chondrodit	1.622
Epistilbit	1.51	Brucit	1.567	Dolomit	1.622
Cancrinit	1.515	Bytownit	1.571	Pargasit	1.623
Harmotom	1.516	Talk	1.572	Topas	1.623
Laumontit	1.521	Alunit	1.579	Lazulith	1.625
Orthoklas	1.522	Anomit	1.581	Cölestin	1.626
Sanidin	1.522	Biotit	1.581	Grandidierit	1.626

Karpholith	1.627	Klinohumit	1.670	Ottrelith	1.74
Wollastonit	1.628	Olivin	1.671	Hedenbergit	1.740
Prehnit	1.630	Lawsonit	1.673	Staurolith	1.741
Melilith	1.632	Viridin	1.675	Grossular	1.744
Aragonit	1.633	Kornerupin	1.677	Pyrop	1.744
Glaukophan	1.633	Orthit	1.682	Hercynit	1.749
Gedrit	1.634	Diallag	1.683	Låvenit	1.750
Apatit	1.637	Diopsid	1.683	Hussakit	1.753
Margarit	1.64	Titanolivin	1.683	Epidot	1.754
Baryt	1.640	Dumortierit	1.684	Gahnit	1.765
Andalusit	1.641	Riebeckit	1.687	Korund	1.766
Salmiak	1.642	Axinit	1.691	Hortonolith	1.788
Humit	1.643	Fuggerit	1.691	Ägirin	1.792
Antophyllit	1.644	Ägirinaugit	1.692	Akmit	1.792
Gem. Hornblende	1.646	Magnes.-Diopsid	1.697	Eisenspat	1.793
Datolith	1.649	Hainit	1.7	Spessartin	1.810
Rosenbuschit	1.65	Hjortdahlit	1.7	Monazit	1.811
Magnesit	1.650	Serendibit	1.7	Almandin	1.814
Turmalin	1.650	Hypersthen	1.700	Uwarowit	1.838
Mosandrit	1.651	Barkevikit	1.701	Fayalit	1.854
Breunnerit	1.654	Zoisit	1.701	Melanit	1.857
Jadeit	1.654	Astrophyllit	1.705	Demantoid	1.889
Gastaldit	1.656	Lamprophyllit	1.705	Lievrit	1.89
Forsterit	1.659	Augit	1.708	Titanit	1.938
Enstatit	1.660	Sapphirin	1.709	Zirkon	1.952
Monticellit	1.660	Wöhlerit	1.714	Cassiterit	2.029
Gehlenit	1.661	Spinell	1.717	Chromit	2.097
Borazit	1.667	Vesuvian	1.717	Perowskit	2.38
Spodumen	1.667	Bas.-Hornblende	1.719	Pyrophanit	2.39
Rinkit	1.668	Klinozoisit	1.720	Goethit	2.5
Sillimanit	1.668	Disthen	1.723	Anatas	2.538
Bronzit	1.669	Diaspor	1.725	Brookit	2.637
Hibschit	1.67	Grünerit	1.73	Rutil	2.712
Lotrit	1.67	Periklas	1.736	Eisenglanz	3.08

Tabelle der Doppelbrechung

der wichtigsten gesteinbildenden Mineralien für Natrium-Licht. Bei einachsigen Mineralien ist der Wert ($\varepsilon - \omega$), bei zweiachsigen der Wert ($\gamma - \alpha$) angegeben.

Die Zahlen haben vielfach nur die Bedeutung von Durchschnittswerten.

Fuggerit	0.000	Mikroklin	0.007	Anophorit	0.012
Eis	0.001	Oligoklas	0.007	Baryt	0.012
Leucit	0.001	Skolezit	0.007	Hainit	0.012
Pennin	0.001	Bytownit	0.008	Hjortdahlit	0.012
Eudialyt	0.002	Chalcedon	0.008	Hydronephelit	0.012
Thuringit	0.002	Crossit	0.008	Laumontit	0.012
Tridymit	0.002	Kaolin	0.008	Mosandrit	0.012
Apatit	0.003	Korund	0.008	Anorthit	0.013
Eukolit	0.003	Labrador	0.008	Chrysotil	0.013
Phillipsit	0.003	Bronzit	0.009	Dipyr	0.013
Rinkit	0.003	Cölestin	0.009	Hypersthen	0.013
Riebeckit	0.004	Cordierit	0.009	Kornerupin	0.013
Harmotom	0.005	Enstatit	0.009	Natrolith	0.013
Hyalophan	0.005	Margarit	0.009	Serpentin	0.013
Klinozoisit	0.005	Oligoklasalbit	0.009	Staurolith	0.013
Melilith	0.005	Quarz	0.009	Lotrit	0.014
Nephelin	0.005	Topas	0.009	Disthen	0.015
Ainigmatit	0.006	Albit	0.010	Mizzonit	0.015
Andesin	0.006	Axinit	0.010	Schoenit	0.015
Anorthoklas	0.006	Celsian	0.010	Wollastonit	0.015
Gehlenit	0.006	Epistilbit	0.010	Gem. Hornblende	0.016
Orthoklas	0.006	Gips	0.010	Spodumen	0.016
Sanidin	0.006	Ottrelith	0.010	Monticellit	0.017
Sapphirin	0.006	Andalusit	0.011	Glaukophan	0.018
Stilbit	0.006	Antigorit	0.011	Brucit	0.019
Vesuvian	0.001—0.006	Borazit	0.011	Hedenbergit	0.019
Zoisit	0.006	Delessit	0.011	Lawsonit	0.019
Beryll	0.007	Dumortierit	0.011	Pargasit	0.019
Heulandit	0.007	Klinochlor	0.011	Alunit	0.020

Fouquéit	0.020	Chondrodit	0.032	Akmit	0.050
Melinophan	0.020	Orthit	0.032	Fayalit	0.050
Nontronit	0.020	Prehnit	0.033	Talk	0.050
Barkevikit	0.021	Turmalin	0.017—0.034	Astrophyllit	0.055
Gedrit	0.021	Hortonolith	0.035	Lamprophyllit	0.055
Magnes.-Diopsid	0.021	Humit	0.035	Grünerit	0.056
Skapolith	0.021	Kataplëit	0.035	Zirkon	0.044—0.062
Karpholith	0.022	Mejonit	0.035	Bas. Hornblende	0.072
Sillimanit	0.022	Lazulith	0.036	Anatas	0.073
Hydrargillit	0.023	Olivin	0.036	Hussakit	0.095
Augit	0.025	Epidot	0.037	Cassiterit	0.096
Antophyllit	0.025	Grandidierit	0.037	Titanit	0.141
Krokydolith	0.025	Muskovit	0.038	Aragonit	0.156
Kainit	0.026	Paragonit	0.038	Brookit	0.158
Rosenbuschit	0.026	Pektolith	0.038	Calcit	0.172
Wöhlerit	0.026	Titanolivin	0.038	Dolomit	0.180
Aktinolith	0.027	Låvenit	0.040	Breunnerit	0.189
Carnallit	0.027	Anomit	0.041	Magnesit	0.192
Tremolit	0.027	Biotit	0.041	Eisenspat	0.239
Thomsonit	0.028	Lithionit	0.041	Natronsalpeter	0.250
Ägirinaugit	0.029	Datolith	0.044	Pyrophanit	0.27
Cancrinit	0.029	Phlogopit	0.044	Eisenglanz	0.28
Diallag	0.029	Anhydrit	0.045	Rutil	0.287
Diopsid	0.029	Diaspor	0.048	(Kalomel)	(0.682)
Jadeit	0.029	Monazit	0.048		
Viridin	0.029	Ägirin	0.050		

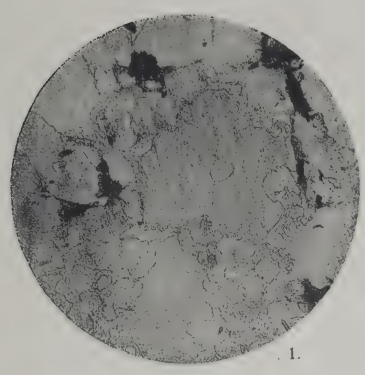
Tabelle der Dichten

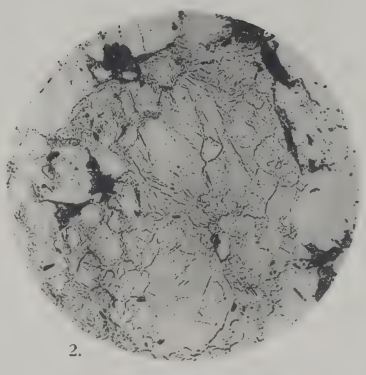
der wichtigsten gesteinbildenden Mineralien.

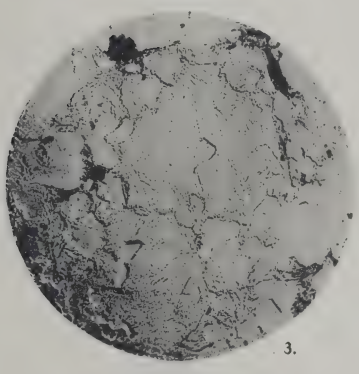
Die Zahlen haben vielfach nur die Bedeutung von Durchschnittswerten.

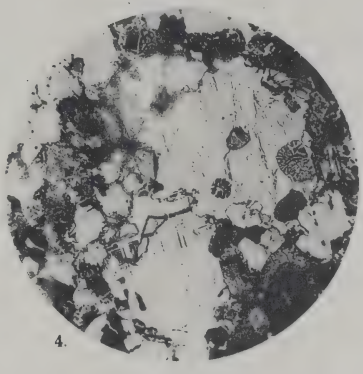
Eis	0.92	Cancrinit	2.46	Kataplëit	2.8
Wasser	1.00	Harmotom	2.47	Pektolith	2.81
Salmiak	1.53	Leucit	2.47	Phlogopit	2.81
Carnallit	1.60	Mikroklin	2.55	Paragonit	2.84
Sylvin	1.99	Nephelin	2.55	Lepidolith	2.85
Schoenit	2.03	Orthoklas	2.55	Muskovit	2.85
Natronsalpeter	2.1	Sanidin	2.55	Prehnit	2.87
Chabasit	2.10	Adular	2.57	Wollastonit	2.88
Kainit	2.13	Dipyr	2.57	Dolomit	2.89
Hydromagnesit	2.16	Kieserit	2.57	Eudialyt	2.92
Stilbit	2.16	Serpentin	2.57	Aragonit	2.94
Hyalit	2.17	Anorthoklas	2.59	Karpholith	2.94
Steinsalz	2.17	Antigorit	2.6	Anhydrit	2.95
Batavit	2.18	Albit	2.61	Borazit	2.95
Analcim	2.19	Mizzonit	2.61	Datolith	2.95
Graphit	2.2	Kaolin	2.62	Melilith	2.96
Heulandit	2.20	Chalcedon	2.64	Fassait	2.97
Phillipsit	2.20	Cordierit	2.64	Mosandrit	2.98
Natrolith	2.21	Alunit	2.65	Grandidierit	2.99
Nontronit	2.21	Oligoklas	2.65	Gehlenit	3.00
Opal	2.21	Quarz	2.65	Tremolit	3.00
Epistilbit	2.25	Andesin	2.67	Biotit	3.01
Hydronephelit	2.26	Beryll	2.7	Melinophan	3.01
Skolezit	2.28	Delessit	2.7	Aktinolith	3.02
Sodalith	2.28	Bastit	2.70	Margarit	3.03
Nosean	2.3	Labradorit	2.70	Eukolit	3.05
Glaukonit	2.30	Klinochlor	2.71	Hibschit	3.05
Laumontit	2.30	Calcit	2.72	Lawsonit	3.09
Tridymit	2.30	Bytownit	2.73	Breunnerit	3.1
Gips	2.32	Mejonit	2.73	Glaukophan	3.10
Thomsonit	2.35	Pennin	2.73	Magnesit	3.10
Hydrargillit	2.38	Anorthit	2.75	Lazulith	3.12
Brucit	2.39	Talk	2.75	Turmalin	3.12
Hauyn	2.45	Hyalophan	2.80	Antophyllit	3.15

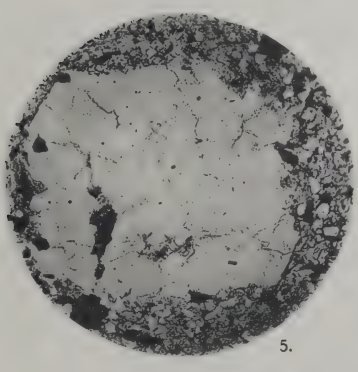
Chondrodit	3.15	Lamprophyllit	3.35	Brookit	3.88
Crossit	3.15	Augit	3.36	Orthit	3.9
Enstatit	3.15	Epidot	3.39	Hortonolith	3.91
Humit	3.15	Riebeckit	3.4	Hercynit	3.94
Klinohumit	3.15	Diaspor	3.40	Siderit	3.94
Spodumen	3.15	Piemontit	3.40	Korund	3.95
Apatit	3.16	Vesuvian	3.40	Lievrit	3.96
Gedrit	3.17	Titanaugit	3.41	Cölestin	3.97
Thuringit	3.17	Serendibit	3.42	Geikielith	3.98
Andalusit	3.18	Barkevikit	3.43	Perowskit	4.03
Fuggerit	3.18	Wöhlerit	3.43	Picotit	4.08
Hainit	3.18	Arfvedsonit	3.45	Almandin	4.1
Fluorit	3.19	Hypersthen	3.45	Dysanalyt	4.13
Lithionit	3.2	Ägirinaugit	3.46	Beckelith	4.15
Forsterit	3.20	Grossular	3.47	Melanit	4.15
Monticellit	3.20	Rinkit	3.48	Spessartin	4.15
Viridin	3.22	Titanit	3.48	Rutil	4.25
Fouquéit	3.23	Sapphirin	3.49	Pyrochlor	4.28
Lotrit	3.23	Uwarowit	3.51	Fayalit	4.32
Gem. Hornblende	3.24	Ägirin	3.53	Goethit	4.37
Kaersutit	3.24	Akmit	3.53	Zirkon	4.45
Sillimanit	3.24	Chloritoid	3.54	Chromit	4.46
Diallag	3.27	Hedenbergit	3.54	Baryt	4.49
Dumortierit	3.27	Ottrelith	3.54	Koppit	4.50
Hjortdahlit	3.27	Topas	3.55	Xenotim	4.52
Kornerupin	3.27	Låvenit	3.56	Pyrophanit	4.54
Axinit	3.29	Hyalosiderit	3.57	Gahnit	4.55
Bronzit	3.29	Disthen	3.60	Hussakit	4.58
Bas. Hornblende	3.3	Spinell	3.60	Magnetkies	4.62
Diopsid	3.30	Periklas	3.67	Ilmenit	4.85
Rosenbuschit	3.31	Allochroit	3.70	Pseudobrookit	4.98
Zoisit	3.31	Grünerit	3.71	Pyrit	5.10
Olivin	3.32	Staurolith	3.72	Monazit	5.16
Celsian	3.34	Ainigmatit	3.75	Magnetit	5.20
Jadeit	3.34	Pyrop	3.75	Eisenglanz	5.29
Prismatin	3.34	Pleonast	3.82	Baddeleyit	6.02
Astrophyllit	3.35	Anatas	3.87	Cassiterit	6.84

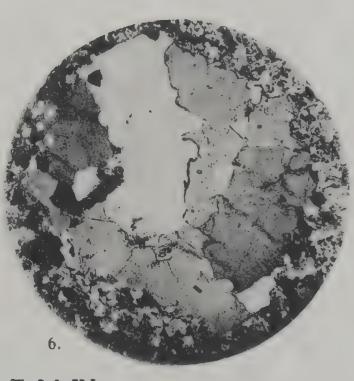

1.


2.


3.


4.


5.


6.

Erklärung der Tafel IV.

Die Figuren 1—4 zeigen die gleiche Stelle eines Tonalitschliffs der Rieserfernergruppe, Tirol, nach F. Becke; s. S. 559—560.

Fig. 1. Beleuchtung zentral, Einstellung hoch. Innenwand der Quarz-Mikropegmatit- und Zirkon-Einschlüsse hell. Mikroperthitspindeln im Mikroklin und Orthoklas hell. Vier Mikrokline im Mikropegmatit dunkler als Umgebung.

Fig. 2. Beleuchtung zentral, Einstellung tief. Quarz- und Mikropegmatit-Einschlüsse sind aussen hell umrandet. Zirkon dunkler als Umgebung. Mikroperthitspindeln in Form dunkler Striche. Vier Mikrokline im Mikropegmatit hell.

Fig. 3. Beleuchtung von links, Einstellung hoch. Alle stärker brechenden Einschlüsse haben links hellen Rand. Auffallend starkes Relief.

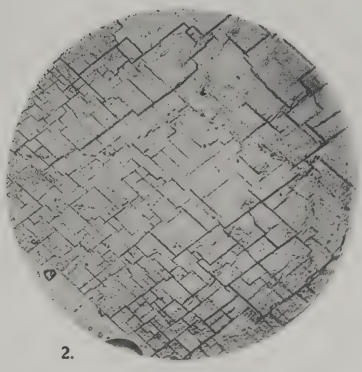
Fig. 4. Der gleiche Schliff zwischen gekreuzten Nicols.

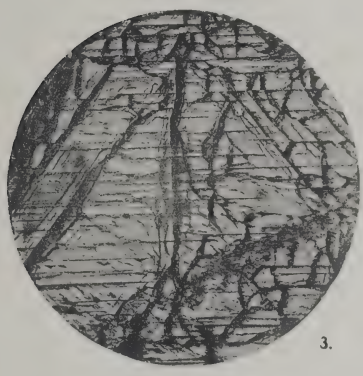
Fig. 5. Aggregat von Quarzkörnern in gewöhnlichem Licht, aus Granitporphyr. Grosssachsener Tal, Odenwald. Vergr. 22. S. 798.

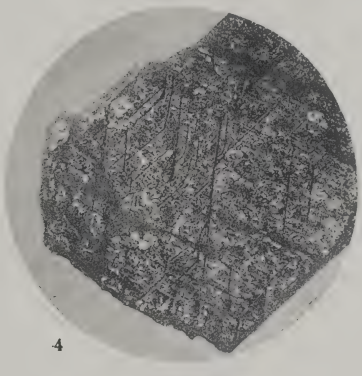
Fig. 6. Dasselbe bei gekreuzten Nicols. Die Figur sollte um etwa 45° oben nach links herumgedreht sein. S. 798.

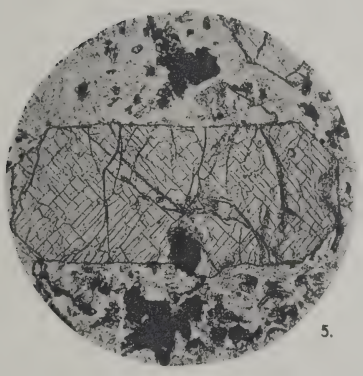
THE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

1.


2.


3.


4


5.

6.

Erklärung der Tafel V.

Fig. 1. Prismatische Spaltung, Schnitt parallel (001); Skapolith. Oedegården bei Bamle, Norwegen. Vergr. 135. S. 663.

Fig. 2. Rhomboëdrische Spaltung, Schnitt parallel ($10\bar{1}1$); Calcit. Auerbach a. d. Bergstrasse. Vergr. 27. S. 663.

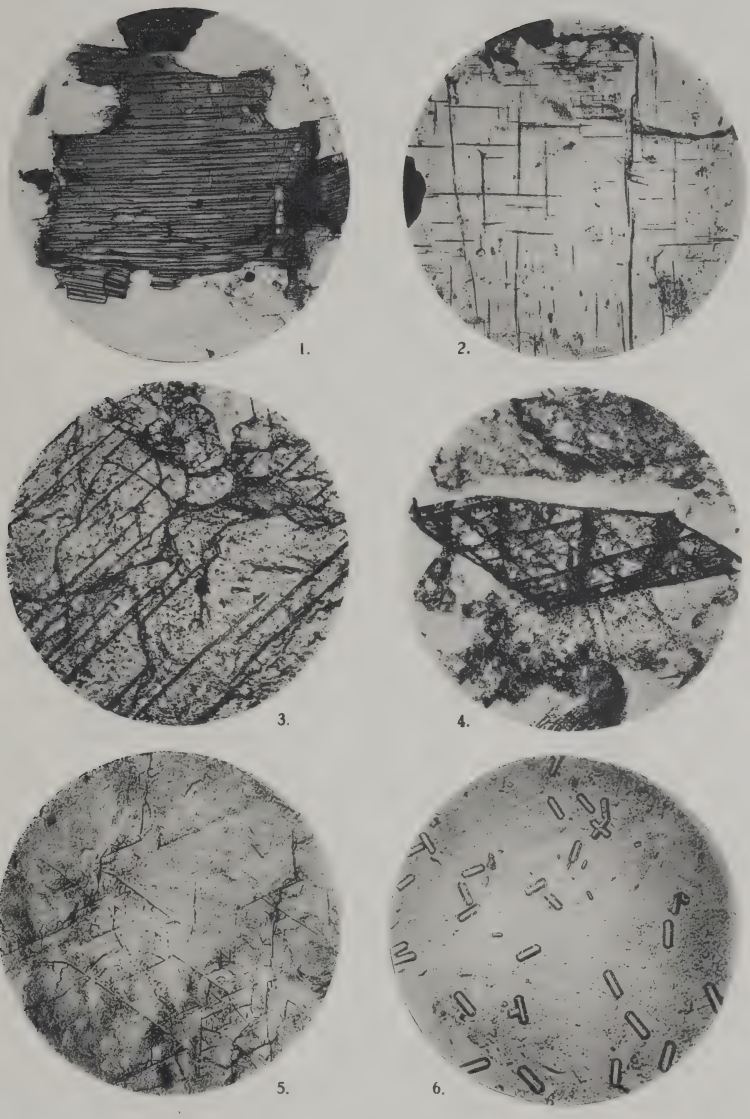
Fig. 3. Spaltung nach Prisma und zwei vertikalen Pinakoiden im Schnitt parallel (001); Hypersthen. Paulsinsel. Vergr. 22. S. 663.

Fig. 4. Pyramidale Spaltung, Schnitt parallel (001); Anatas. Oisans, Dauphine. Vergr. 22. S. 663.

Fig. 5. Prismatische Spaltung, Schnitt senkrecht zu c; Augit aus Nephelintephrit. Neunlinden am Kaiserstuhl. Vergr. 36. S. 663.

Fig. 6. Prismatische Spaltung, Schnitt senkrecht zu c; Hornblende aus Dacit. Timoktal, Serbien. Vergr. 33. S. 663.

THE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS



Erklärung der Tafel VI.

Fig. 1. Pinakoidale Spaltung im Schnitt senkrecht zu derselben; Glimmer aus Granitit. Grasstein bei Mauls, Tirol. Vergr. 27. S. 663.

Fig. 2. Spaltung nach (001) und (010) im Schnitt nach (100); Orthoklas aus Augitsyenit, Laurvig, Norwegen. Vergr. 24. S. 663.

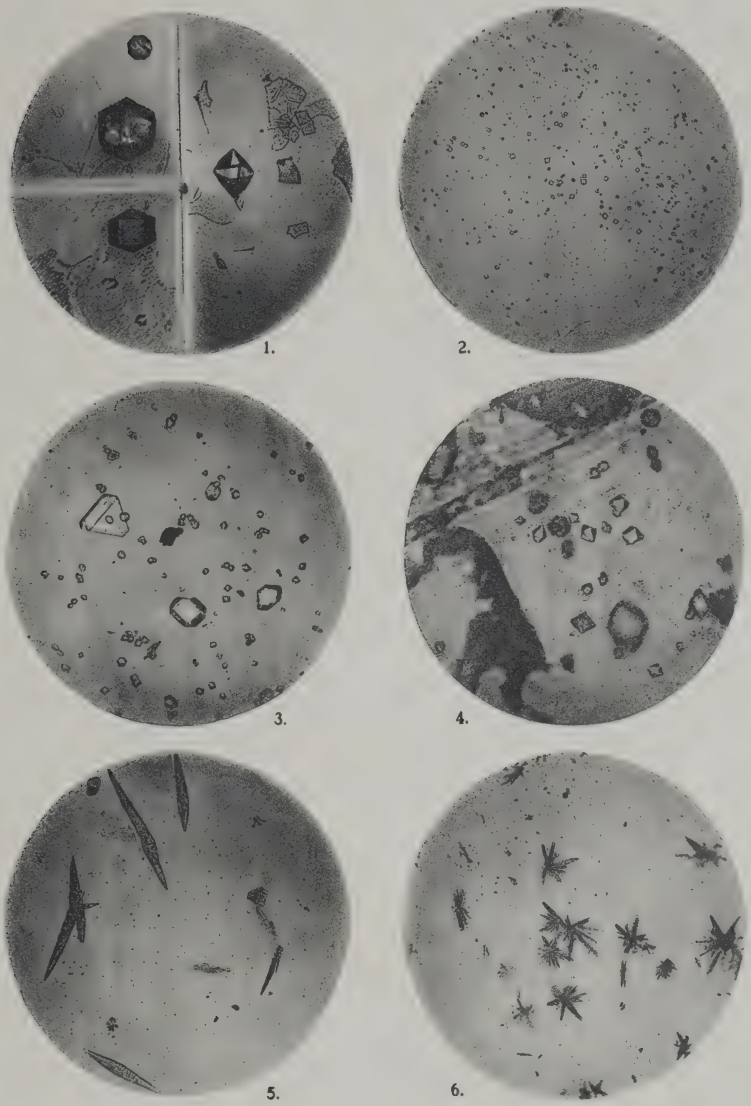
Fig. 3. Spaltung nach (001) und (100) im Schnitt nach (010); Epidot aus Epidotfels. Auerbach a. d. Bergstrasse. Vergr. 54. S. 663.

Fig. 4. Spaltung nach (110) im Schnitt senkrecht zu c; Titanit aus Syenit. Föhrbach, Odenwald. Vergr. 68. S. 663.

Fig. 5. Oktaëdrische Spaltung im Schnitt nach (111); Fluorit. Markirch. Vergr. 38. S. 663.

Fig. 6. Kieselfluornatriumkristalle und Kieselfluoraluminium (amorph), aus Sodalith. Vesuv. Vergr. 24. S. 748.

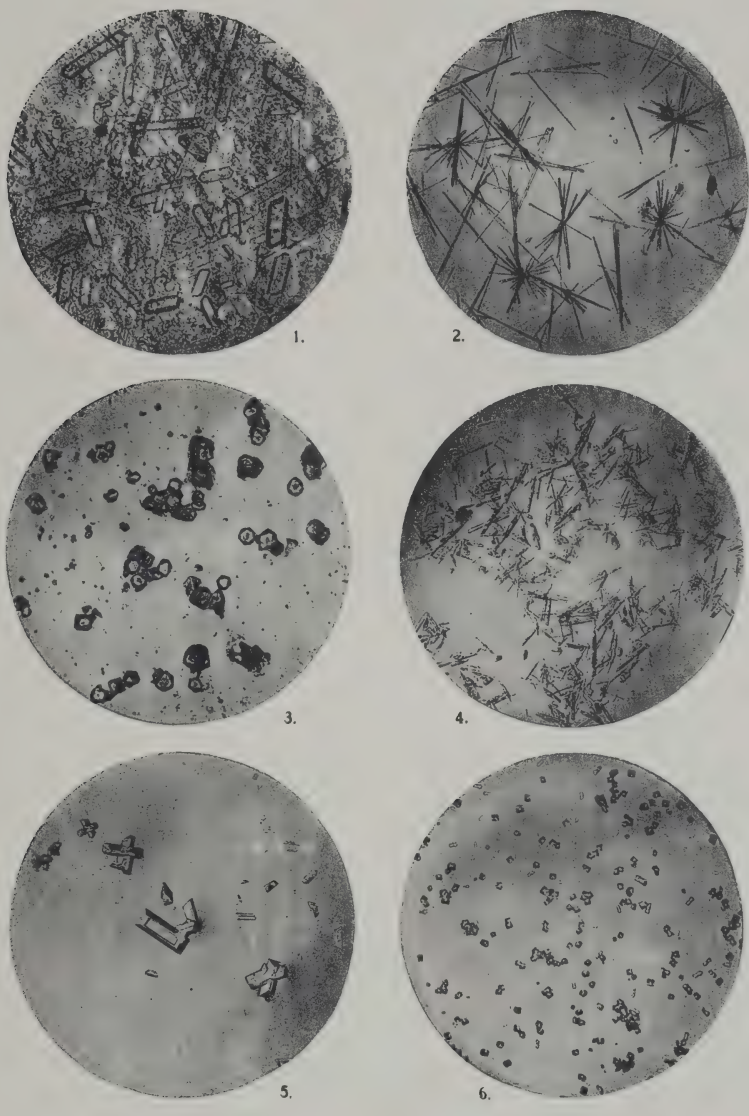
THE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS



Erklärung der Tafel VII.

Fig. 1. Kieselfluornatriumkristalle und Kieselfluoraluminium (amorph), aus Sodalith. Vesuv. Vergr. 143, 90 u. 128. S. 748 u. 754.
Fig. 2. Kieselfluorkaliumkristalle aus Apophyllit. Fassatal. Vergr. 120. S. 748.
Fig. 3. Kieselfluorkaliumkristalle aus Sanidin. Wehr. Vergr. 128. S. 748.
Fig. 4. Kieselfluorlithiumkristalle und Kieselfluoraluminium aus Zinnwaldit. Vergr. 90. S. 749.
Fig. 5. Kieselfluorcalciumkristalle. Vergr. 40. S. 750.
Fig. 6. Kieselfluorcalciumkristalle aus Apophyllit. Vergr. 38. S. 750.

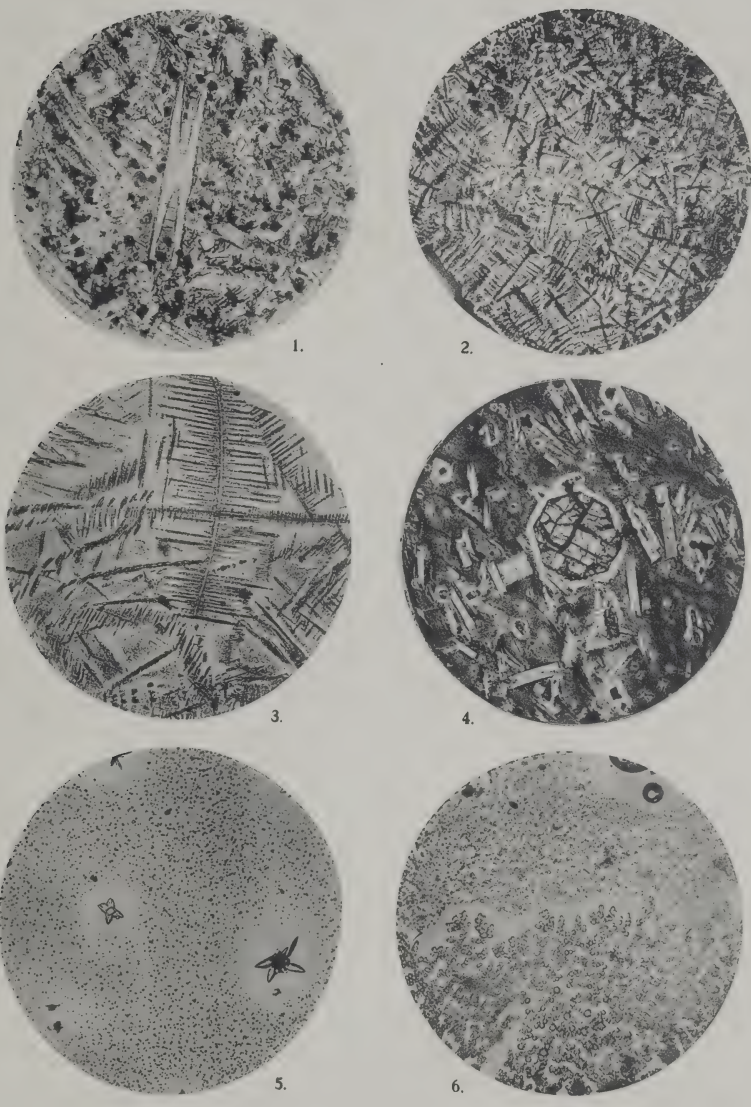
THE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS



Erklärung der Tafel VIII.

Fig 1. Kieselfluormagnesiumkristalle aus Biotit. Vergr. 27. S. 751.
Fig. 2. Gipskristalle. Vergr. 18. S. 750.
Fig. 3. Cäsiumalaunkristalle. Vergr. 18. S. 754.
Fig. 4. Kristalle von Ammoniummagnesiumphosphat (Struvit). Vergr. 9. S. 751 u. 757.
Fig. 5. Dasselbe aus sehr verdünnter Lösung. Vergr. 27. S. 751 u. 757.
Fig. 6. Phosphorsaures Molybdän-Ammoniak in Kristallen. Vergr. 128. S. 757.

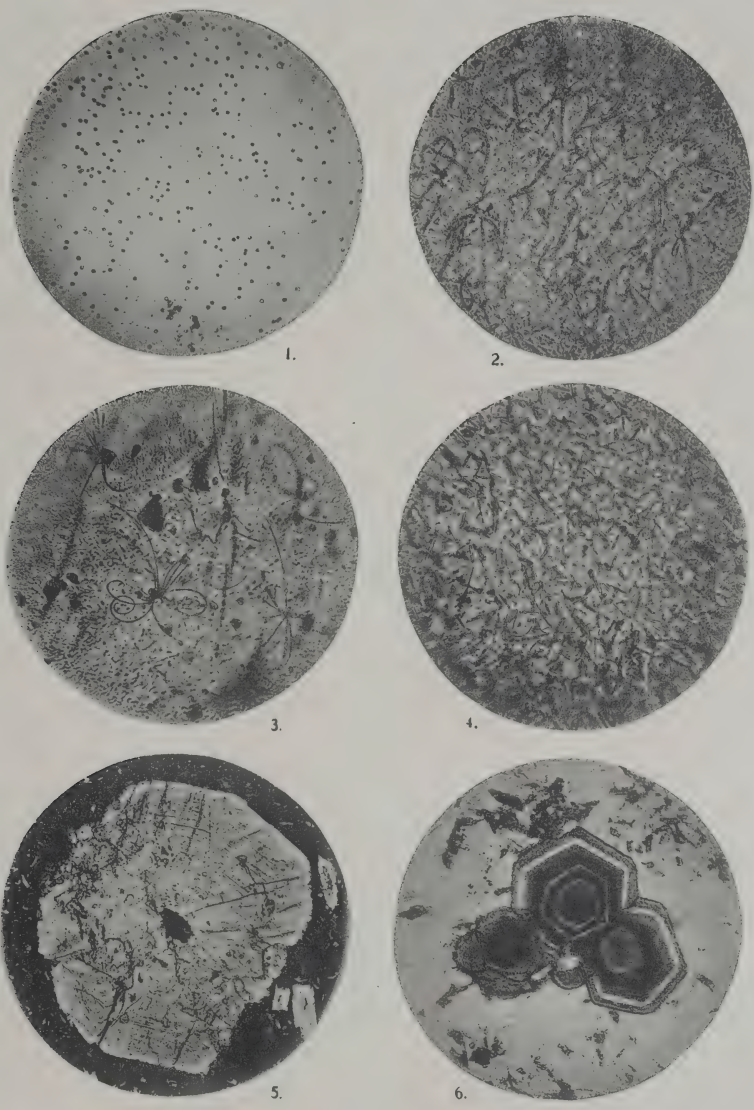
THE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS



Erklärung der Tafel IX.

Fig. 1. Kristallskelette von Olivin in Basalt. Palma. Vergr. 90. S. 763.
Fig. 2. Kristallskelette von Magnetit in Glasbasalt. Provinz Schantung, China. Vergr. 80. S. 763.
Fig. 3. Kristallskelette von Augit in Pechstein. Arran. Vergr. 80. S. 763.
Fig. 4. Augit mit farblosem Kristallisationshof im Trachytpechstein. Hammersfjord, Island. Vergr. 22. S. 762.
Fig. 5. Lösung von Schwefel in einem Gemisch von Schwefelkohlenstoff und Canadabalsam. Es haben sich Globulite und Kristalle mit einem globulitenfreien Hof gebildet. Vergr. 180. S. 762 u. 769.
Fig. 6. Dasselbe. Es haben sich Globulite und Longulite gebildet. Vergr. 180. S. 769 u. 770.

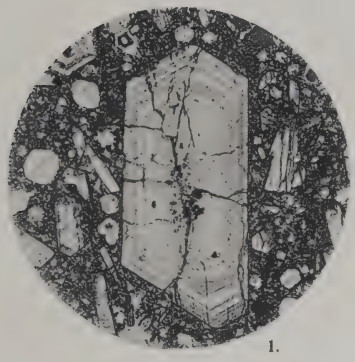
THE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

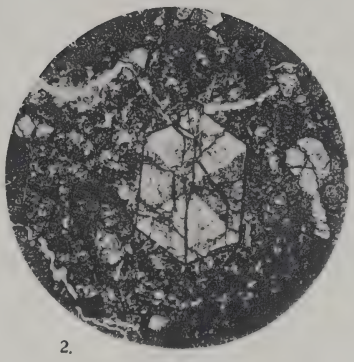


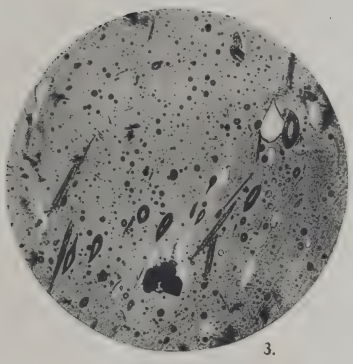
Erklärung der Tafel X.

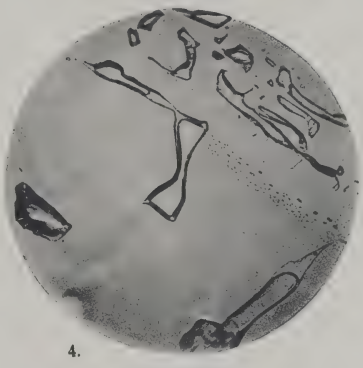
Fig. 1. Globulite in Basaltglas. Hawaii, Sandwich-Inseln. Vergr. 225. S. 769.
Fig. 2. Margarite in Obsidian. Clear Lake, Cal. Vergr. 225. S. 770, 772.
Fig. 3. Trichite in Obsidian. Mexiko. Vergr. 180. S. 773.
Fig. 4. Mikrolithe und Trichite in schillerndem Obsidian. Transkaukasien. Vergr. 200. S. 774.
Fig. 5. Schaliger Bau eines Plagioklases in Melaphyr. Bufaure, Fassatal. Vergr. 32. S. 774.
Fig. 6. Schaliger Bau am Melanit, aus Phonolith. Steinriesenweg bei Oberbergen, Kaiserstuhl. Vergr. 54. S. 775.

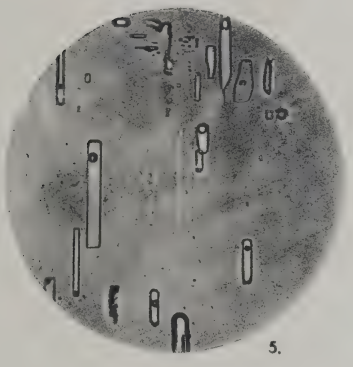
THE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

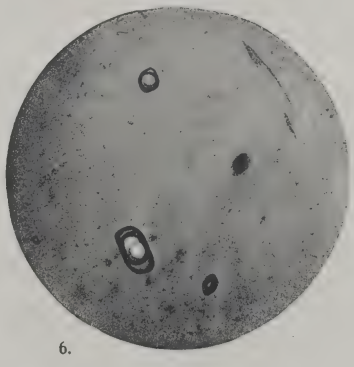

1.


2.


3.


4.


5.


6.

Erklärung der Tafel XI.

Fig. 1. Schaliger Bau am Augit, aus Leucitit. Kreuzle bei Rothweil, Kaiserstuhl. Vergr. 19. S. 775.

Fig. 2. Anwachspyramide am Augit, aus Nephelinit. Eichberg bei Rothweil, Kaiserstuhl. Vergr. 40. S. 776.

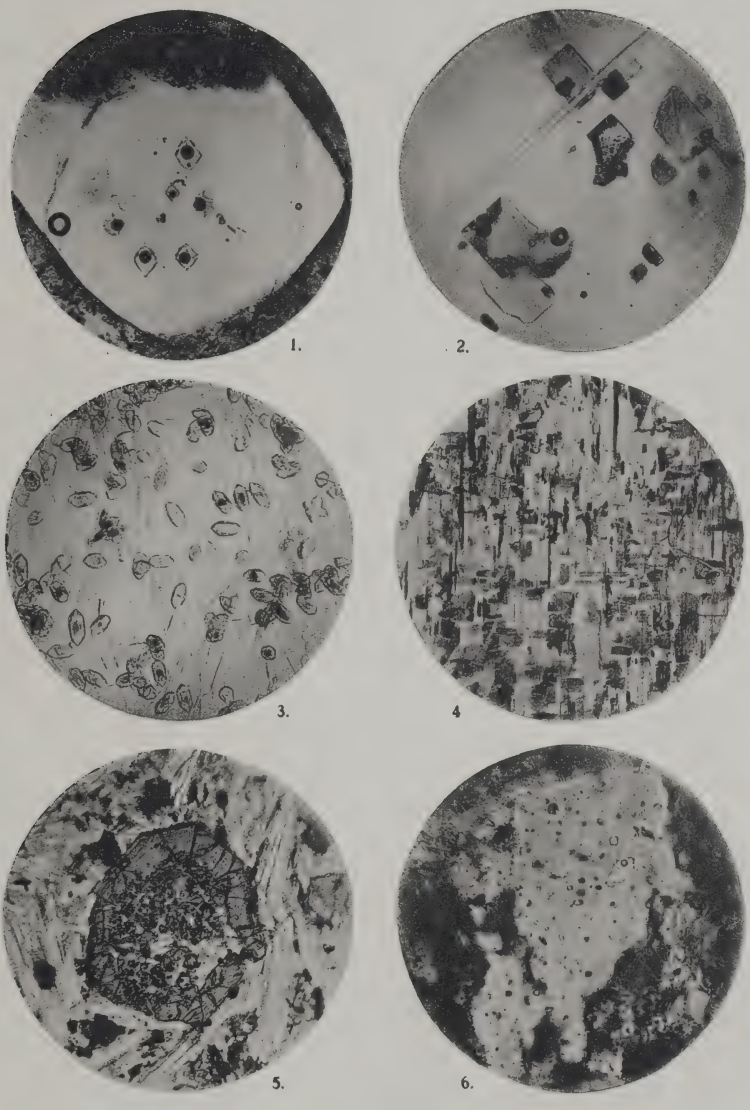
Fig. 3. Gaseinschlüsse in Obsidian. Mexiko. Vergr. 72. S. 777.

Fig. 4. Die Wandung nicht netzende Flüssigkeit in Topas. Schneckenstein, Sachsen. Vergr. 75. S. 779.

Fig. 5. Flüssigkeitseinschlüsse in Steinsalz. Friedrichshall, Württemberg. Vergr. 180. S. 778.

Fig. 6. Zwei sich nicht mischende Flüssigkeiten in Rauchquarz. Branchville, Conn. Vergr. 90. S. 790.

THE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS



Erklärung der Tafel XII.

Fig. 1. Glaseinschlüsse in Quarz, dihexaëdrisch, aus Quarzporphyr. Dossenheim a. d. Bergstrasse. Vergr. 65. S. 784.

Fig. 2. Glaseinschlüsse mit mehreren Bläschen in Anorthoklas. Pantelleria. Vergr. 90. S. 784.

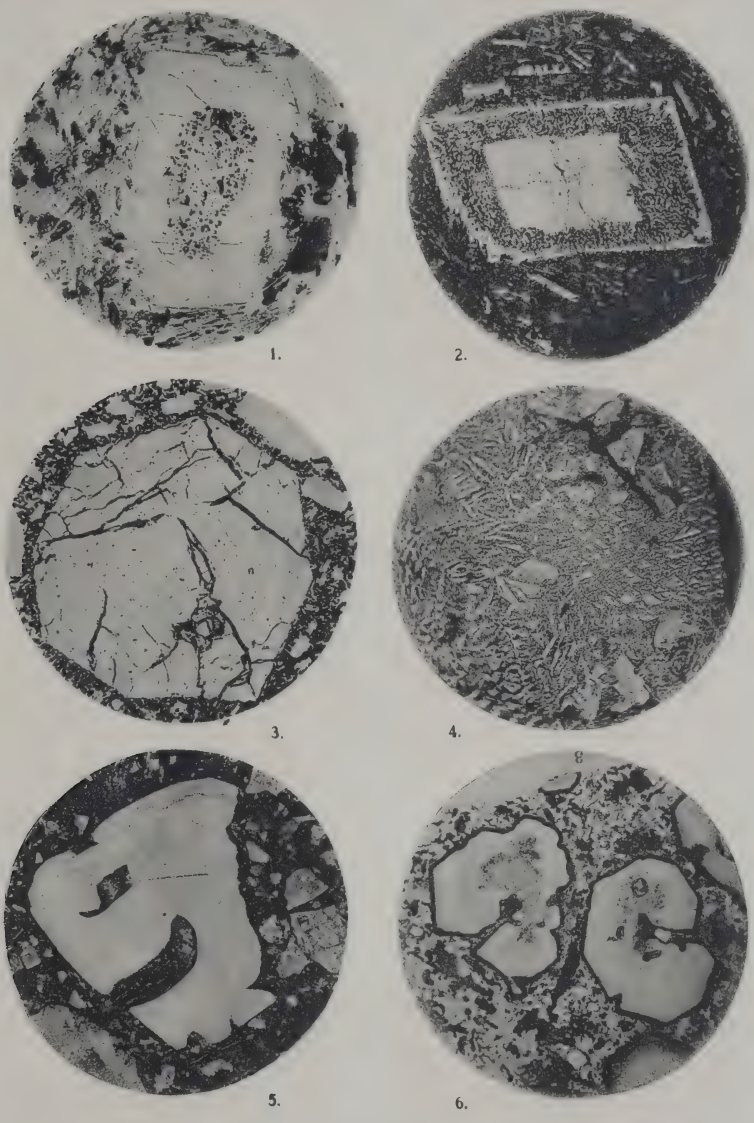
Fig. 3. Quarzeinschlüsse im Heulandit. Färöer. Vergr. 27. S. 786.

Fig. 4. Mikrolitheneinschlüsse in Hypersthen. Paulsinsel. Vergr. 27. S. 786.

Fig. 5. Durchdringung von Augit mit Plagioklas, Magnetit und Apatit, aus Basalt. Löwenburg, Siebengebirge. Vergr. 27. S. 786.

Fig. 6. Flüssigkeitseinschluss mit ausgeschiedenem Kristall in Quarz, aus Granitporphyr. Cornwall. Vergr. 188. S. 795.

THE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS



Erklärung der Tafel XIII.

Fig. 1. Zentrale Anhäufung von Einschlüssen in Feldspat, aus Trachyt. Monte Olebano bei Pozzuoli, Neapel. Vergr. 45. S. 787.

Fig. 2. Peripherische Anhäufung von Einschlüssen in Feldspat, aus Hornblende-Andesit. Südserbien. Vergr. 49. S. 787.

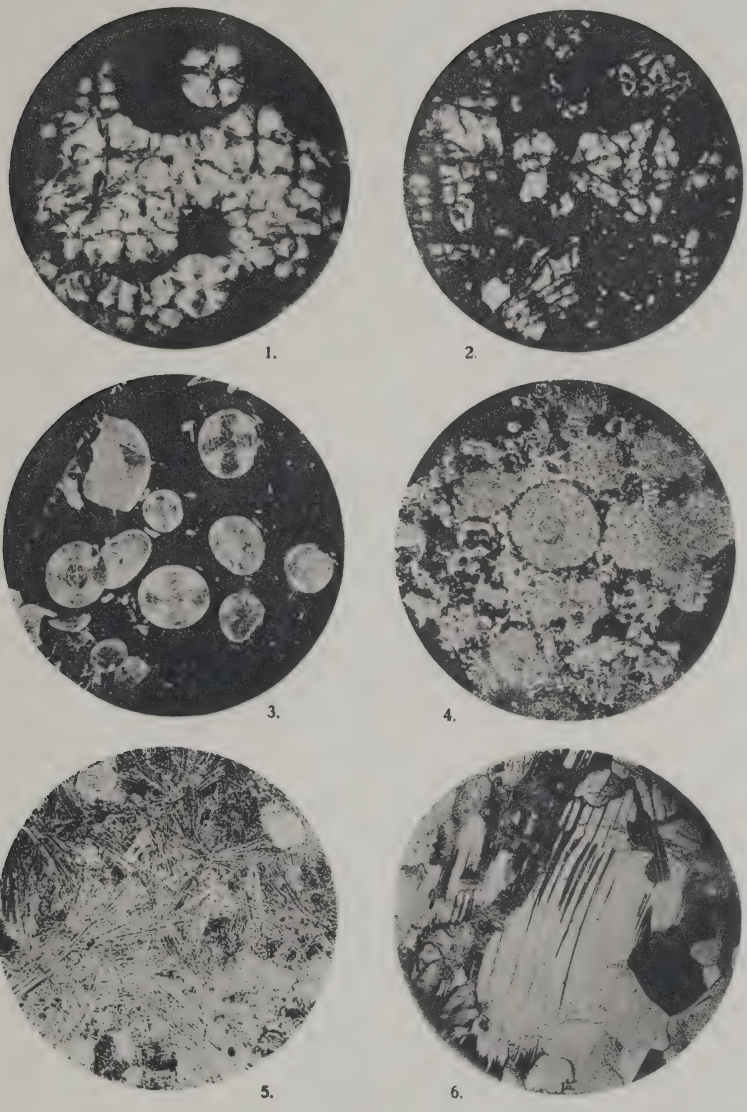
Fig. 3. Zonare Anordnung von Einschlüssen in Leucit, aus Vesuvlava. Monte Somma. Vergr. 12. S. 787.

Fig. 4. Durchdringung von Quarz und Orthoklas, aus Granophyr. Sperberbächel bei Hohwald, Vogesen. Vergr. 72. S. 786.

Fig. 5. Durch Korrosion deformierter Quarzkristall in Quarzporphyr. Scharfenstein, Münstertal, Schwarzwald. Vergr. 22. S. 807.

Fig. 6. Durch Korrosion deformierter Nosean in Leucitophyr. Burgberg bei Rieden. Vergr. 10. S. 807.

THE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS



Erklärung der Tafel XIV.

Fig. 1. Sphärokristalle von Chalcedon zwischen gekreuzten Nicols, aus Diabasporphyrit. Pfalz. Vergr. 45. S. 801 u. 802.

Fig. 2. Bertrandsche Interferenzkreuze an Sphärosiderit. Steinheim, Wetterau. Vergr. 32. S. 801 u. 802.

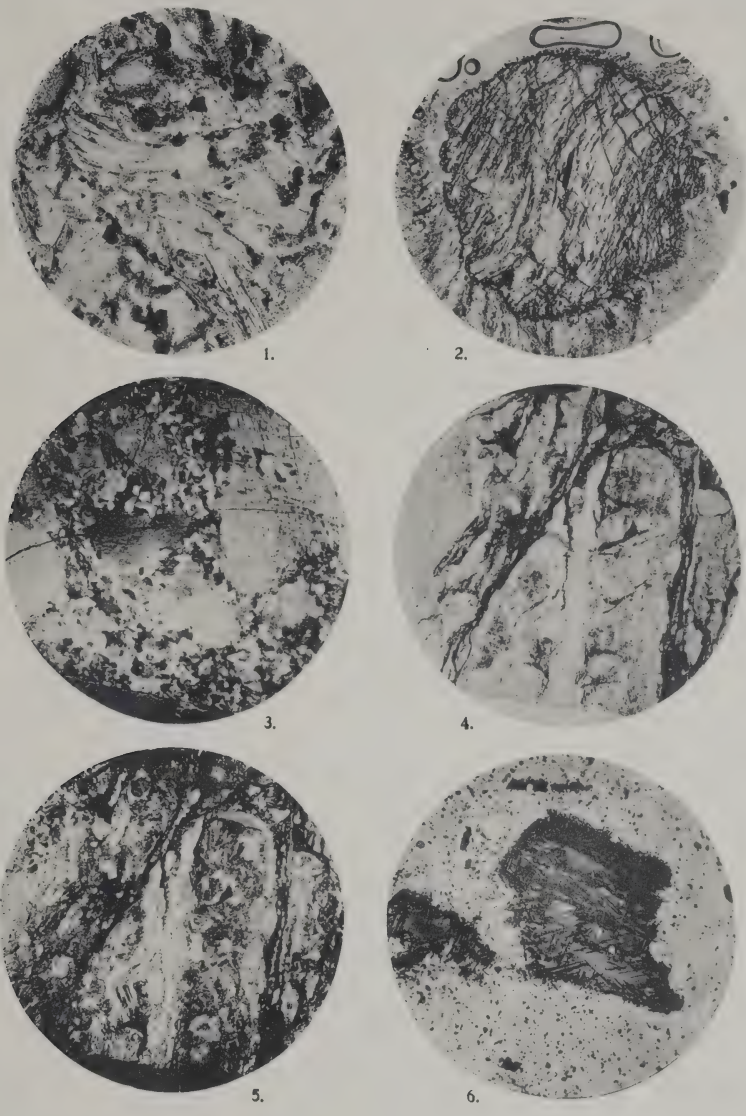
Fig. 3. Oolithkörner zwischen gekreuzten Nicols. Von einem Korallenriff. Bahama-Inseln. Vergr. 18. S. 801.

Fig. 4. Granosphärit von Quarz zwischen gekreuzten Nicols, aus Eisenkiesel. Stiftsbuckel, Heidelberg. Vergr. 22. S. 804.

Fig. 5. Sphärische Aggregate und Bündel von Feldspatkristallen in Trachyt. Kaukasus. Vergr. 54. S. 801.

Fig. 6. Plagioklas mit gebogenen Lamellen bei gekreuzten Nicols, in Olivingabbro. Store Behhafjord, Norwegen. Vergr. 40. S. 806.

THE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS



Erklärung der Tafel XV.

Fig. 1. Gebogener und aufgeblätterter Glimmer in Augitminette. Fuchsmühle bei Weinheim a. d. Bergstrasse. Vergr. 38. S. 805.

Fig. 2. Zerquetschter Granat in Glimmerschiefer. Brixen, Tirol. Vergr. 9. S. 806.

Fig. 3. Randlich zertrümmerter Feldspat in Anorthosit. Chicoutimi, Quebec, Canada. Vergr. 9. S. 806.

Fig. 4. Albit zerquetscht und in seinen Teilen verschoben aus Phyllitgneiss. In gewöhnlichem Licht. Allen's Creek, Viktoria, Australien. Vergr. 9. S. 806.

Fig. 5. Derselbe zwischen gekreuzten Nicols. S. 806.

Fig. 6. Biotitkristall, randlich korrodiert und mit Druckfiguren, aus Porphyrit. Ilfeld, Harz. Vergr. 20. S. 663 u. 806.

THE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Autoren- und Sachregister.

Abbe Apertometer 355; Aplanatische Fläche 258; Aplanatisches System 294; Apochromate 339; Aquivalentbrennweite 283; Diffraktionsapparat 333; Dispersion 59; Linsenoptik 253; Monochromator 246; Objektive 288, 339; Okularspektroskop 593; Polarisationsprisma 237; Sinusbedingung 295; Testplatte 348; Theorie der sekundären Abbildung 326—339; Totalreflektometer 651; Vertikalilluminator 378; Würfelchen 413; Zeichenapparat 413.
Abbildung aplanatische 295; durch weit geöffnete Büschel 287—300.
Aberration 289—298, 300—305; chromatische 300; zentrale sphärische 289; zonare sphärische 294.
Aberrationsfreie Flächen 258.
Abkühlungsvorrichtung 411.
Abney 246.
Abnutzung und Härte 665.
Abnutzungswiderstand 666.
Abschleifen und Härte 665.
Abschmelzungen 807.
Absoluter Brechungsindex 57.
Absorption 195; selektive 195.
Absorptionsachsen 200.
Absorptionsbüschel 200—204.
Absorptionserscheinungen 194—210.
Absorptionsfilter 211.
Absorptionsspektra 593.
Absorptionsstreifen 195.
Abstrahierte Brennfläche 631.
Abweichung chromatische 300; sphärische 289.
Acetylentetrabromid 692.
Achromasie 302; Bedingung 303, 304, 359.
Achromat 339, 342.
Achromatische Linsen 301—303.
Achse der Isotropie 102, 116.
Achse einer Linse 255.
Achsenbilder einachsiger Kristalle 178, 179; zweiachsiger Kristalle 182, 186, 188, 190, 192, 193, 194.
Achsendispersion 122, 123, 189—194, 626; — und Dispersion der Flüssigkeiten 605.
Achsenebene 123, 188; Änderung mit der Temperatur 217.
Achsenfarben 198.
Achsenkreuz der Plagioklase 506.
Achsenlage normalsymmetrische 191, 493; symmetrische 191, 487.
Achsenpräparate 152; senkrecht zur spitzen oder stumpfen Bisektrix 601; schief 605.
Achsenwinkelapparat 611—617; mit zwei Kreisen 617.
Achsenwinkel der Plagioklase 511.
Achsenwinkel-Immersion 201, 618, 633, 634.
Achsenwinkel, optischer 119—122, 601—607; Änderung mit der Temperatur 217; Messung 600—639; scheinbarer 122, 602; wahrer 122, 601.
Achsenwinkel und Brechungsindizes 119—122, 577, 578.
Achse, optische Beobachtung des Austritts 607; der äußeren (117), der inneren (118) konischen Refraktion; ihre Brechung 119, 122, 602, 608; primäre 117; sekundäre 117; — und Auslöschungsschiefe 487—497; — und Doppelbrechung 119, 577.
Acidophilie 738.
Adams Kugelsegmente 459, 462, 520, 527, 627; Prinzip 459.
Additionserscheinungen 156.
Additionslage 155.
Ady 12.
Aggregate 797—805; heterogene 797; homogene 797; regellose 798.
Aggregatpolarisation 798.
Ahlers 667 Anm. 1.
Ahrenssches Prisma 227 Anm. 8, 236, 237.
Akkommodation 360.
Akkommodationsbereich 360.
Akkommodationszwang 360.
Aktinolith, optische Achsen 608.
Alizarinlösung 751.
Allochromatisch 195.
Allotriomorph 763.
α-Wirkung des Radiums 208.
Ältester Mikroskoptypus 381.
Aluminium 754.
Aluminiumchlorid Reagens 738, 752.
Amann 580.
Ambronn anomale Interferenzfarben 134; Einbettungsmethode 549, 563; Indikatrix 95 Anm. 1; Mikroskopische Bilderzeugung 333 Anm. 1; Pleochroismus 210; Quotient v 136.
Amici aplanatische Punkte 292; Linse nach Amici-Bertrand 390, 391, 399, 400, 432, 433, 456, 622, 629; Prinzip 293; Wasserimmersion 341.
Amici-Bertrandsche Linse 390, 391, 399, 400, 432, 433, 456, 615, 620, 622, 629.

Amicirohr 391, 429.
Ammoniak 735, 748.
Ammoniumphosphat Reagens 752.
Amphophilie 738.
Amplitude der Schwingung 47, 142, 143.
Amyrolin 119 Anm. 1.
Analcim Färbung 738.
Analysator 138, 381; aufsetzbarer 381, 469; drehbarer 389, 393; im Tubus 381, 390.
Analytische Darstellung der Lichtbewegung 142—144.
Anastigmatische Doppellupe 316.
Anastigmatisches System 299.
Anatas Färbung 747.
Andreae 683.
Andreasberger Farben 136.
Andrews 792, 793.
Anhydrit-Präparat zur Stauroskopie 470.
Anilinblau 735.
Anilin Nickelreagens 753.
Anisotrope Blättchen im parallelen Licht 140; mehrere übereinander 154—156.
Anisotrope Medien 48, 74, 126; senkrecht zu einer optischen Achse 152—154; zwischen gekreuzten Nicols 140.
Anlauffarben 127.
Anomale Doppelbrechung 214.
Anomalien, optische 49, 212—216.
Anormale Interferenzfarben 136.
Anorthit, optische Achsen 609—611.
Anorthoskopie 299.
Antidrom 174, 180.
Antinormale Farben 136.
Anwachskegel 775.
Anwachspyramiden 775.
Apertometer optische Bank 351; von Abbe 355; von Metz 353; von Metzner 354; von Volkmann 352; von Wülfing aus Glimmer 355.
Apertur Ausnutzung 347; bei Konoskop 618; des Fixsternlichtes 139 Anm. 1 und zugehörige Berichtigung 847; numerische 287, 351—358; — und Gesichtsfeld 618; — und Lichtstärke 286.
Aperturblende 326.
Aperturscheibe 352.
Aplanatische Abbildung 295.
Aplanatische Flächen 258.
Aplanatische Systeme 291, 294.
Apochromate 339, 342.
Apophyllit Chromozyklite 135; Färbung 738.
Appiani 717.
Äquatorial-Ellipse 172.
Äquivalentbrennweite 271—280; Bestimmung 281—286; Definition 280.
Arago Erscheinungen beim Kalkspat 80; Fresnel-Aragosche Gesetze 137; Refraktionskonstante 62; Zirkularpolarisation 126.
Aragonit und Kalkspat 751.
Arbeit und Lichtintensität 48.
Arons Chromoskop 592; Quecksilberbogenlampe 245.
Arschinow 462.
Arsenbromür 691.
Arzruni 689 Anm. 2.
Äschynit Niobgehalt 761.
Asterismus 196, 785.
Astigmatische Augen 254.
Astigmatismus 289, 299; bei Lupen 254.
Asymptoten bei Achsenbildern 185, 635.
Äther 42.
Ätherelastizität 46.
Ätherleerer Raum 45.
Ätherschwingungen bei gewöhnlichem Licht 43; bei polarisiertem Licht 80.
Atomgewicht, Härte und Dichte 666.
Atomrefraktion 68.
Atterberg 782.
Attraktive Kristalle 76.
Ätzfiguren 739—740.
Ätzung der Feldspäte 736.
Auerbach 666.
Auflösende Kraft 326, 334.
Aufschließen 744—746.
Auge Empfindlichkeit 228, 337; Ermüdung 361; und polarisiertes Licht 80, 218.
Augenglas der Huygenschen Okulare 310, 359, 362.
Auge und Linse 306, 360—363.
Augit Kristallisationshöfe 762; Kristallskelette 763.
Auramin 211.
Ausklappbarer Kondensor 373.
Auslöschung 150, 466; undulöse 806.
Auslöschungskurven 490—491, 495.
Auslöschungsrichtung 150, 466.
Auslöschungsschiefe 150, 466; bei symmetrischer Achsenlage 487; bei normalsymmetrischer Achsenlage 493; Berechnung 487—497; Bestimmung 464—497; Literatur 464—466; Vorzeichen 467.
Ausreiben des Striches 597.
Außerordentlicher Brechungsindex 93.
Außerordentlicher Strahl 76.
Außerordentliches Licht 74.
Außerordentliche Welle 89.
Aussuchen 728.
Austrittspupille 324.
Auswertung des Quarzkeils 579, 580.
Autokollimation 429, 456.
Awi-System 201, 618, 633, 634.
Axiolithe 800.

Babinet Kompensator 567—574; optischer Charakter 590; Regel bei Absorption 198; — Soleilscher Kompensator 575.
Baker 319.
Bakterienlicht 42.
Barium 749.

Bariumnitrat 757.
Bariumquecksilberjodid-Lösung 689.
Barlow 772 Anm. 2.
Bartalini 121.
Bartholinus, Erasmus 74.
Barvič 64.
Baryt Einschlüsse 795; zur Dickenbestimmung 576.
Basis bei Gesteinen 771.
Basisfarbe 198.
Basophilie 738.
Batêa 702.
Baumhauer Ätzfiguren 739.
Baumwollblau 735.
Bausch u. Lomb, Mikroskopbau 396.
Beale 412.
Becher 221.
Beck 375; Mikroskopbau 396.
Becke Absorptionsbüschel 203; Achsenwinkelmessung 636—639; anomale Interferenzfarben 134—136; Anwachspyramiden 776, 787; Ätzfiguren 739, 776; Babinetscher Kompensator 572; Fächerbarre 189; Gipsblattverwendung 645; Isogyren 160, 172, 188; Kleinsche Lupe 629; Lage der optischen Achse 181; Lage der spitzen Bisektrix 646, 647; Lichtbrechungsbestimmung 554—564; Linie 554; Mallardsche Konstante 630 Anm. 1; Molekularrefraktion 73; Molekularvolumen 671; Optik der Plagioklase 510; optischer Charakter 645—647; Pendelbarre 180; Skiodromen 174; Tinktion 736; zweiachsige Kristalle 187.
Becker 658.
Beckmann Spektrallampe 244.
Becquerel 536.
Beer Geschwindigkeitskegel 172; konische Refraktion 119 Anm. 1; Refraktionskonstante 62, 68, 69.
Behrens Aluminium 754; Ammoniumfluorid-Reagens 749; Beryllium 752; Cersuccinat 755; Chlorreaktion 756; Häkchen 730; Kristallite 769; Lithium-Reaktion 749; Mikroreaktionen 743, 744, 749, 755, 759; Safraninfärbung 737; Schliffe 35; Strontiumchromat 749; Thorium 755; Zelluloid-Täfelchen 730; Zentrifuge 731; Zirkonium 759.
Behrens-Kley Chlorreaktion 756; Mikrochemie 744; Thallothoriumkarbonat 755.
Beilby 35.
Beleuchtung am Mikroskop 366—381, 462, 545, 559.
Beleuchtungsachse 429.
Beleuchtungslinse 426.
Beleuchtungsspiegel 323, 375.
Beleuchtungsstärke 249.
Beleuchtungsverhältnisse bei Linsen 257.
Beleuchtungsvorrichtungen 366—381, 462.
Beleuchtungswechsel 369—376, 400.
Bellevue, Fleuriau de 319, 719.
Belonite 774.
Benedicks Kanadabalsam 565; Wirkung der Apertur 337.
Bensaude, optische Anomalien 212, 215.
Benson 466 Anm. 1.
Benz 7.
Benzol Struktur 48.
Beobachter und Brille 310.
Beobachtung im konvergenten Licht 138.
Beobachtung im parallelen Licht 138.
Beobachtung zwischen Nicolschen Prismen 138.
Berechnung der Auslöschungsschiefe 487 bis 497.
Berek Auslöschungsschiefe 465, 466, 486; Gesichtsfeldblende 325; Kompensator 582; Kreuzung der Nicols 469; Monochromator 252.
Bergeat Isogyren 176 Anm. 1.
Bergersches Stativ 396.
Bernard 537.
Bernhard 419.
Berthelot 68.
Bertin Absorptionsbüschel 201; Chaulnessches Verfahren 536; isochromatische Flächen 160, 169, 626, 627.
Bertrand Absorptionsbüschel 201; Amicische Linse 622, 629; Demonstrationsversuch bei parallelem Licht 153; Glyzerintröpfchen 625 Anm. 3; Goniometer 459; Halbkugel 650; Interferenzbilder 153; Interferenzkreuz 802; Mikroskop 438; Prismen 231 Anm. 1, 236, 237; Okular 480; Quarzplatte 477, 480; Sphärokristalle 802; System von hoher Apertur 201, 619; Totalreflektometer 650; Winkelmessung 453—455; Zahnstangenteilung 388, 438.
Berwerth Tinktion 736.
Beryllium 752.
Besborodka 179 Anm. 1.
Beugung bei Abbildungen 326.
Beugungsfigur 328.
Beuteltuche 701.
Bezugsflächen einachsiger Kristalle 97—102; zweiachsiger Kristalle 124—125.
Biaxial surface 124.
Biegungen 806.
Bikonkave Linse 255.
Bikonvexe Linse 255.
Bildhebung nach Chaulnes-Sorby 542.
Bildpunkt 259.
Bild und Objekt 259.
Bildung der Kristalle 762—776.
Bildverzerrung 299.
Bildweite 268.
Bildwölbung 289.
Binokulare Lupe, Zeiß 313.
Binormalen 117.
Biot attraktive u. repulsive Kristalle 76; Drehquarz 587; Einbettungsmethode 544 Anm. 1; empirische Formel 168 Anm. 1;

-Kleinsche Quarzplatte 477; Refraktionskonstante 62; zweiachsige Kristalle 160.
Biotit Absorption 198.
Biot-Kleinsche Quarzplatte 477.
Bipolare Achsen 49.
Biradialen 117.
Birefraktometer 580.
Bisektrizen 122; Dispersion 191—194.
Blätterdurchgänge 662.
Blaufärbung des Hauyns 741; der tonerdehaltigen Mineralien 741; der Pendelbarre 645; der Quadranten 644.
Blauholzextrakt 738.
Bleidose 744.
Bleioxyd als Reagens 746.
Bleitopf 727.
Blenden am Tubusende 624; Gesichtsfeldsblende 325; nach Grabham 133 Anm. 1, 547, 589; Iris 624; Objektivblende 324; Spaltblende 625; Wrightscher Schieber 545.
Blendenwirkung 546.
Blumrich 776.
Boas Chaulnessche Methode 536 Anm. 1; Feinbewegung am Mikroskop 439.
Bogenglühlampe Pointalit 426.
Bogen mit Draht 7.
Boeggild Astrophyllit und Elpidit 473; Struvit 751.
Bogitsch 675.
Boeke Abkühlungsvorrichtung 411; Salzschliffe 25.
Böklin 108, 112, 113.
Bor 758.
Bořicky Kieselflußsäuremethode 748; Mikroreaktion 743; Pleochroismus 209.
Bornemann 12.
Borosilikatthermometer 407.
Borsäure 758.
Boué 318 Anm. 2.
Bourgois Mikroreaktionen 743; Zirkonnachweis 759.
Boyle 318.
Brandão-Leißsches Mikroskop 516.
Brauns Anomalien 212—216; Chalkographie 597; Färbung 196; Kreuzschlittentisch 391; Mikroreaktionen 743, 757; Salpetersäurenachweis 757; Schwere Flüssigkeit 690; Sphärokristalle 801 Anm. 1.
Bravais Kompensator 575; Zwillingsplatten 478, 586.
Bravais-Stöberscher Quarzzwilling 478, 586.
Brechung des Lichtes 46, 52.
Brechungsexponent = Brechungsindex.
Brechungsgesetz 52, 53, 264.
Brechungsindex absoluter 57, 58; Änderung mit der Temperatur 217; außerordentlicher 75; Bestimmung 533—564; Beziehung zum Achsenwinkel 119—122, 577, 578; Definition 56, 57; mittlerer 65; ordentlicher 74; von Luft 58; von Mischungen 65; relativer 57, 58; Tabelle 808—809; und Wellenlänge 59—61; von Wasser 603.
Brechungsvermögen molekulares 68; spezifisches 61.
Brechungsvorgänge an dünnen Linsen 259—271.
Brennebenen 255.
Brennfläche 630; abstrahierte 631.
Brennpunkte 255; reelle 259; virtuelle 259.
Brennweite 255; bei achromatischen Linsen 302; bei zwei Linsen 269—271; Beziehung zu Gesichtsfeld 286; Beziehung zu Öffnung 286; dünner Linsen 267; negative 267; starker Objektive 286 Anm. 1.
Bréonsche Schmelze 693.
Brewster Absorptionsbüschel 200; Anomalien 212; Einschlüsse 778, 789, 790, 794; Gipsblatt 584 Anm. 1; Interferenzkreuz 214; konvergentes Licht 159; Lupe 311; mikroskopische Studien 319; Pleochroismus 197; Sphärokristalle 801; zweiachsige Kristalle 159.
Brewsterscher Winkel 219.
Březina Auslöschungsschiefe 471 Anm. 3; Doppelplatte 475, 476; Nörrenbergsches Instrument 393; Meteoreisen 597.
Brill 112.
Brillengläser für astigmatische Augen 254.
Brillouin 63 Anm. 3.
Brögger Anwachspyramiden 776; Justierung 458; — Ramsay Apparatur 617; Sanduhrformen 776; Trennungsapparat 713.
Bromnatriumlicht 242.
Bromoform 685.
Brookit Färbung 747.
Brownsche Molekularbewegung 771, 781—783.
Bruch 663.
Bruchlose Deformationen 806.
Brucit und Karbonate 742.
Brückesche Lupe 315.
Brugman 719 Anm. 13.
Brühl 69.
Brun 544.
Brunnée Schleifapparat 26; Wechsel der Beleuchtung 371.
Bücking optische Anomalien 213.
Bündel von Lichtstrahlen 138 Anm. 1.
Bunsensche Kapillarröhrchen 733.
Büschel von Lichtstrahlen 138 Anm. 1.
Butler 795.

Cadmiumborotungstat 688; als Reagens 753.
Cadmiumborowolframat 687.
Cagniard de la Tour 792.
Cahours 536.
Calcit und Dolomit 738, 752; und Zeolithe 742.

Calcium 750.
Calciumkarbonat 738, 742, 751, 752.
Calderon Calcitplatte 482; Spaltrisse 662.
Calkins 14.
Camera photographische 408, 419—420; stereoskopische 314.
Camera lucida 417; bei Achsenwinkelmessung 638.
Camichel 200.
Campeche Aufguß 738.
Canaval Aufschlußmittel 746; Borreaktion 758.
Capeller 319.
Caput mortuum 40.
Cardioid-Kondensor 377.
Carpenter Einschlüsse 779; Mikroskop 517.
Carrasco 499.
Cartesische Flächen 258.
Cartesisches Ovaloid 258.
Cäsium 748.
Cäsiumalaun 754.
Cassinische Kurve 182.
Cathrein Dichroskop 595; Trennung 727.
Cauchy 59, 62.
Cavities 784.
Cerium 755.
Césaro Auslöschungsschiefe 465; $^1/_4$-Und.-Glimmerblatt 645 Anm. 4; Empfindliches Violett 581; Kompensation 581.
Chabasit Färbung 738.
Chagrin 564—565.
Chagrinierte Oberfläche 564.
Chalcedon Färbung 738.
Chalkographie 597.
Charakter, optischer 76, 121; Bestimmung im parallelen Licht 583—591; im konvergenten Licht 639—649; einer Zone 590; eines Minerals 590; mit Babinetschem Kompensator 590.
Charakteristik, optische einachsiger Kristalle 102; zweiachsiger Kristalle 126.
Charakteristische Strahlen einer Linse 259.
Chaulnes, Herzog v. Abänderungen seines Verfahrens 536—537; Bildhebung bei Objektmikrometer 284, 536, 542; Brechungsindizes 439, 533—536; Chaulnes-Sorbysches Phänomen 54 Anm. 1, 537.
Chaulnes-Sorbysche Methode 537—543.
Cheminolumineszenz 42, 210, 212.
Chemische Deformationen 806 - 807.
Chemische Methoden 728—761.
Chemische Trennung 726.
Chemische Untersuchungen 728—761; Einzelreaktionen 747—761.
Chevaliersche Lupe 314.
Chlor 737, 756.
Chlorblei und Chlorzink Schmelze 693.
Chlorit anomale Interferenzfarben 133; Färbung 737.
Chlornatriumlicht 242.
Christiansen 64.
Chrom 754.
Chromatische Aberration 300—305.
Chromatische Differenz der Vergrößerung 340.
Chromatophilie 738.
Chromoxyd 40.
Chromozyklit 135.
Chromozyklitfarben 136.
Chrustschoff Kompensator 574.
Churchsche Lösung 685.
Chwolson Linsenoptik 253; Refraktionskonstante 64.
Clausius, R. 296.
Clerici Lösung 692; Mikrorefraktometer 554; Trennungsapparat 717.
Coddingtonsche Lupe 311.
Cohen Bleitopf 727; Glühen von Dünnschliffen 662, 740; Härtebestimmung 664; Konoskop 620 Anm. 1; Metoreisen 597; Mikrolithe 774; pleochroitische Höfe 206; Pseudo-Oolithe 805; Spaltrisse 662; Trennung mit Flußsäure 727; Untersuchungsmethoden 688 Anm. 1; Westphalsche Wage 679.
Collingridge 637, 639.
Comparateur 578—580.
Comptonit Färbung 738.
Cordier Dünnschliffe 11; Magnetische Trennung 719; Pleochroismus 197; Untersuchungen in Körnerform 319.
Cordierit 197, 199.
Cornu Calcitplatte 483; Färbungen 196; küntlsicher Pleochroismus 210.
Cossa 727.
Couquet 756.
Crook Absorptionsbüschel 202; Magnetische Trennung 719 Anm. 1, 724.
Crownglas-Brechung 302.
Culmann Linsenoptik 253.
Cumol-Thermostat 16.
Cumulite 769.
Cyankalium als Lösungsmittel 734.
Czapski Brennfläche 630; Chaulnessche Methode 535; Fokometer 283 Anm. 1; Gesichtsfeldblende 325; Irisblende 325, 364, 624, 652; Linsenoptik 253; Mikroskop 390; Objektivschlittenwechsler 390, 391; Okular mit Irisblende 364, 625, 652; Totalreflektometer 651 Anm. 1; zweikreisiges Goniometer 34.

Dale Refraktionskonstante 62, 68.
Daly Auslöschungsschiefe 465, 492.
Dana 664.
Daubenton 319.
Davy Dichte 678; Einschlüsse 788; Flüssigkeitseinschlüsse 794; mikroskopische Studien 319.
Day Erhitzungsmikroskop 406.
Debye-Scherrer 48.
Deckglas bei Immersionen 346, 347; bei Trockensystemen 344 - 345; Dicke 345, 346; durchbohrtes 732.

Décombe Mikrorefraktometer 554.
Definition des Begriffs Dichte 667.
Deformationen mechanische 805; chemische 806.
Deiters 320.
De Klercker 62.
Delesse Geometrische Gesteinsanalyse 442; magnetische Trennung 720.
Delisle & Ziegele 13.
Demokrit 42.
Demonstrationslupe 317.
Demonstrationsokular 366.
Densivolumeter 675.
Densivolumêtre 675.
Derby Absorptionsspektrum 594 Anm. 1; Batêa 702 Anm. 3.
Desaga Trennungsapparate 710, 716.
de Saussure 719.
Descartes 53.
Des Cloizeaux Achsenwinkel 601; Einfluß der Temperatur 216 Anm. 6, 217; Hauptarbeiten 321.
Desmin Färbung 738.
Deutliche Sehweite 309, 361.
Deuxième ellipsoïde 124.
Dezentrierung 385.
Diagonalstellung 184.
Diagramm der Feldspatzwillinge 502, 504; Taf. III.
Diamantbort 10.
Diamantin 40.
Diamantscheibe zum Schneiden 10.
Diaphragma auf Tubusrand 624; Schieber nach Grabham 133 Anm. 1, 547, 589; Schieber nach Wright 545.
Diatomaceenplatte 348.
Dichroismus 198.
Dichroit 197.
Dichroskop 594—596.
Dichte 667—699; Bestimmung 671—699; Definitionen 667; Härte und Atomgewicht 666; Tabellen 814—815; von isomorphen Mischungen 669.
Dick, Allan Drehbare Polarisatoren 393; Mikrospektroskop 594 Anm. 1.
Dicke einer Linse 255.
Dicke Linsen 271.
Dickenmesser 575.
Dickenmessung 438, 566, 576; nach Nikitin 442.
Dicke und Doppelbrechung 141.
Differenz, chromatische der Vergrößerung 340.
Diffraktionsapparat 333.
Diffuse Aufhellung 153, 470.
Dilatometer 682.
Diller Trennungsapparat 716.
Dilutes Pigment 196.
Dimensionen des Nicolschen Prismas 222.
Dimethylglyoxim 754.
Dioptrie 127 Anm. 1.
Dippel Camera lucida 417; Linsenoptik 253; Prüfung der Objektive 347; Zeichenapparate 412.
Diskontinuität der Kristalle 776.
Diskussion der Fresnelschen Formel 144—152.
Dispersion 46, 59; bei der Einbettungsmethode 548; der Bisektrizen 123, 191—194; der Doppelbrechung 133—137; der Hauptvektoren 123; des Wassers 603; gekreuzte 193; geneigte 191; horizontale 192; mittlere 59; partielle 59; relative 59; totale 59.
Dispersion der optischen Achsen 127, 626; im rhombischen System 123, 189; im monoklinen System 123, 191; im triklinen System 123, 194.
Distorsion 299.
Dittler Kolloidale Tonerde 754; Mallardsche Konstante 630 Anm. 1.
Dollond 301.
Dolomieu 319.
Dolomit und Calcit 738, 752.
Doelter Erhitzungsmikroskop 406, 408; Färbungen 196; kolloidale Tonerde 754; magnetische Trennung 720; photographische Camera 408; Trennung nach Schmelzbarkeit 728.
Donau Brownsche Bewegung 783 Anm. 5; Mikrofilter 731.
Doppelbrechende Blättchen mehrere übereinander 154.
Doppelbrechung 76; anomale 212—216, 586; Bestimmung 566—582; Dispersion 133—137; Maß 566; Rechenbeispiel 93; Tabelle 812—813; von Mineralien Taf. I; von Quarz 573; und Druck 212—214, 586.
Doppelbrechung der Objektivlinsen 349—351.
Doppelkeil, zweifacher 483.
Doppelkombinationskeil 479.
Doppellupe 316.
Doppelplatte Bravais 478; Březina 476; Calderon 482; Königsberger 478; Soleil 478; Stöber 478; Traube 484.
Doppelquarzkeil 484.
Doppelquarzkeilplatte 485.
Doppelschalige Flächen einachsige Kristalle 86—97; zweiachsige Kristalle 103—126.
Doppelschraubenmikrometerokular 436.
Doppelspat Hauptbrechungsindizes 54, 60, 93.
Doppelte Libelle 779, 789, 790.
Dörffel 254.
Dove 641 Anm. 1.
Drahtsäge 7.
Drehapparate 458–464.
Drehbarer Kompensator 582.
Drehbare Nicols 393, 394, 402, 517.
Drehbarer Mikroskoptisch 381, 395.
Drehspiegelungsachse 49.
Drehquarz 586.

Drehungsvermögen, optisches 126, 477.
Dreiachsiges Ellipsoid 104.
Dreibrodt 717.
Dreifüße zum Schleifen 27, 33, 36, 39.
Dreipunktobjektivzange 401.
Druck und Doppelbrechung 586, 806.
Druckfiguren 806.
Drude Aberration 290; Absorption 197; Lichttheorie 84; Linsenoptik 254.
Drüner Camera zur Lupe 315.
Duboinsche Lösung 689.
Duc de Chaulnes 284, 439, 533—536.
Duc de Chaulnes-Sorby 54 Anm. 1, 537.
Dudenhausen 196.
Dufet Achsenwinkelmessung 610 Anm. 1; Auslöschungsschiefe 464; Mischungsregel 67, 68.
Dufour 678.
Dulong 62 Anm. 2.
Dunkelstellung 150.
Dunkle Balken 183.
Dunkle Härteskala 664.
Dunkles Kreuz 178.
Dünne Linsen 259—271.
Dünnschliff chemische Reaktionen 728—742; Farbreaktionen 734; früheste Herstellung 11 und zugehörige Berichtigung 847; Gelatination 734; Glühen 740; Herstellung 11—22; Löslichkeit 733; von losen Massen 22; von Mineralpulvern 24; von Salzgesteinen 25.
Duparc Mikroreaktionen 744; und Sabot 499.
Durchsichtige Mineralien 194, 591.
Dur- und Mollgesteine 703.

Eakinssches Pyknometer 677.
Ebene Wellen 45, 54; Beobachtung 612; Brechung 55; Grundlage für Brechungsindizes 55; Reflexion 55.
Ebene Flächen, Herstellung 35.
Ebenflächige Bilder bei Lupe 311.
Ebner, v. 459.
Echinodermenskelett für Polarisatoren 221.
Edelsteinuntersuchung 460.
Edinger Zeichenapparat 417.
Edison-Swan-Werke 426.
Edward 687.
Edwards 64.
Ehlers 200.
Ehrenberg 320.
Ehringhaus Anomale Interferenzfarben 134; antinormale Farben 136; Doppelbrechung des Quarzes 573 Anm. 2; Quotient N 136.
Eichstädtscher Schlämmapparat 705—706.
Eichtemperatur der Westphalschen Wage 681.
Eigenfarbe 195.
Eisenerze Löslichkeit 734.
Eisenoxyd Poliermittel 40.
Einachsige Kristalle 74—102; Erhitzung 216; Interferenzerscheinungen 176—181; optische Charakteristik 102; optischer Charakter 76; senkrecht zur optischen Achse 176; schief und parallel zur optischen Achse 180.
Einbettungsflüssigkeiten 550—553.
Einbettungsmethode 541—554; Bestimmung des optischen Charakters 584.
Einfache harmonische Bewegung 143.
Einfache Kristalle 764.
Einfache Schiebung 663.
Einfaches Mikroskop 305.
Einfallsebene 52.
Einfallslot 52.
Einfallsstrahl 52.
Einfallswinkel 53.
Einfarbiges Licht 58, 239—252.
Einheitskugel 101, 112.
Einhüllende Welle 43, 54, 55.
Einkreisige Goniometer 458.
Einschalige Flächen bei einachsigen Medien 93—97; bei zweiachsigen Medien 103—126.
Einschlüsse 776—797; Anordnung 786; Art 776; Flüssigkeits- 778, 779, 783; Gas- 777, 779, 783; individualisierte 785, 786; Kohlensäure- 788; mit doppelter Libelle 779, 789, 790; Schlacken- 784; stoffliche Natur 788; Wasser- 788.
Einsprenglinge 805.
Einstein 783.
Einstellung des Mikroskops und des Fadenkreuzes 360—363.
Einteilung, optische der Medien 48; der Kristallsysteme 50—51; der zweiachsigen Kristalle 122.
Eintrittspupille 324.
Einzelreaktionen 747—761.
Eisen 752.
Eisenerze, ihre Löslichkeit 734.
Eisenkohlenlampe 211.
Eisenlohr 64.
Eisenzinkkalkolivin 137.
Elastische Lichttheorie 46.
Elastizität 46.
Elastizitätsellipsoid 124; nach Kirchhoff 125; irrtümliche Bezeichnung 124.
Elastizitätsfläche bei einachsigen Kristallen 94, zweiachsigen Kristallen 107, 125.
Elastizitätsovaloid bei einachsigen Kristallen 94, 99; bei zweiachsigen Kristallen 108, 124.
Elektrische Feldstärke 84.
Elektrisches Leitungsvermögen 726.
Elektrische Verschiebung 84.
Elektrolumineszenz 42, 210.
Elektromagnet 719—725.
Elektromagnetische Lichttheorien 46, 84.
Elektrostatische Trennung 725.
Elementarkörperchen der Kristalle 769.
Elementarwelle 43.
Ellipsoid der gleichen Arbeit 125; dreiachsiges 104, 124; Fresnelsches 94, 99—101, 104, 124.

Ellipsoïde de polarisation 125; des élasticités 125; direct 124; inverse des élasticités 125; principal 124.
Ellipsoid of indices 125.
Elpidit für Stauroskopie 472.
Elster 196.
Emich Mikrofilter 731; Mikroreaktionen 744.
Empedokles 42.
Empfindliche Farbe 132, 476, 581, 585.
Empfindliches Rot 585.
Enantiomorphe Klassen 49.
Enantiomorphie 126.
Enantiotropie 216.
Endell Erhitzungsmikroskop 410.
Energie und Lichtintensität 47.
Englisches Format 18.
Englischrot 40.
Enhydros 795.
Entstehung der Gas- und Flüssigkeitseinschlüsse 783.
Eosin als Reagens 735; Filter 240.
Epidot Absorptionsbüschel 202.
Epoptische Kristalle 202.
Eppenstein Linsenoptik 253.
Erbium 756.
Ergänzungsellipsoid 124.
Erhard 792.
Erhitzungsapparate 404—411.
Erhitzungsmikroskop 404—411, 729.
Erlenmeyersches Kölbchen 709.
Ermann epoptische Kristalle 202.
Ermüdung des Auges 361.
Ernst 649.
Erste Bisektrix 122.
Erstes Ellipsoid 124.
Erweiterung der Beckeschen Methode 562—564.
Escard Densivolumeter 675.
Escher 176.
Euler 42.
Eupodiscus Argus Ehrbg. 348.
Evans dicker Quarzkeil 582; Trennungsapparat 716.
Evident bei Achsenwinkel 602.
Exkursionslupen 316.
Exner, F. Härte 664.
Exner, S. Brownsche Molekularbewegung 783; Mikrorefraktometer 547.
Extinktionskoeffizient 195.
Eykmans 64.

Fächerbarre 189.
Fadenkreuzbeleuchtung 393.
Fadenkreuz im Huygensschen Okular 362; Korrektur 469; Neigung der Fäden 468; scharfe Einstellung 361; — und Nicolhauptschnitt 470.
Faktorentabelle für Libellendreifuß 31.
Faraday Elektromagnet 719; Lichthypothese 44.
Farbe und Pleochroismus 194—212, 591—600.
Farben 194—196; Bestimmung 591—594, 597—600; der Mineralien 194—196; dünner Blättchen 127—133; Helligkeit 195, 251; höherer Ordnung 132, 470; niedriger Ordnung 132, 586; Newtonsche 127—133.
Farbenschiller 786.
Farbenskala Newtonsche 131; Raddesche 591; von Klincksieck und Valette 591; von Ostwald 591.
Farbentafel nach Michel-Lévy 566—567, Taf. I; Lichtempfindlichkeit 567 Anm. 1.
Färbeverwandtschaft 738.
Farbenwandlungen 196.
Farbenzerstreuung 59; bei Linsen 300.
Farbig 195.
Farbiges Licht 129.
Farblösungen 735, 747.
Farbreaktionen 734.
Färbung mit Ätzung 736; ohne Ätzung 737.
Farmer-Hastings 75 Anm. 2.
Favre 499.
Federwage 684.
Fedorowsche Achse am Mikroskop 429.
Fedorowsche Methode 498—532; Ausführung 527—532; Diagramm der Feldspatzwillinge 504—514, Taf. III; Literatur 498—499; Theorie 499—504.
Fedorow, v. Achsendispersion 626; Achsenwinkel 603; Autokollimation 429, 456, 526; Brechungsindex 537 Anm. 1; Diagramm 504; Frontkreuz 456; Glimmerkeil 581; mehrkreisige Goniometer 462; optischer Charakter 591; Pseudopleochroismus 197; Theodolitmikroskop 403, 514—527; Universalmethode 498—532; Universaltisch 500, 518, 519, 521.
Fehlerbestimmung bei Mikrometerschraube 440; bei Schwimmermethode 697; bei Stauroskopie 486.
Feinbewegung am Mikroskop 382, 393, 396, 397; Kalibrierung 439—441.
Feldspatgruppe Ätzung 736; Morphologie 507; Optik 510, 511, 561; Zwillingsgesetze 505, 508.
Feldspatzwillinge Diagramm 504, Taf. III; Lage der Zwillingsachsen 505, 506, 508, Taf. II; Zwillingsachsen und Vektoren 512, 513.
Feldstärke 84.
Fernrohr auf „Unendlichkeit“ 612; Interferenzerscheinungen 611; mit veränderlicher Vergrößerung 616; mit Verkleinerung 456; Strahlengang 611—614.
Ferraris Linsenoptik 253.
Ferricyankaliumlösung Reagens 752.
Ferro 465.
Ferrocyanbarium-Kalium 750.
Ferrocyankalium 735.
Festigkeit 661.

Feußner 653.
Filter für Licht 239.
Filtration 730.
Filtrierapparat 731.
Fischer Farbe 591; Historisches 11, 318 Anm. 2; magnetische Trennung 724.
Fischer-Wülfing 510.
Fixsternlicht 139 Anm. 1, 847.
Fizeau Dispersion der Doppelbrechung 573; optische Änderungen mit der Temperatur 217.
Flächen einschalige 99, 124, 125; gleichen Gangunterschieds 160—171; isochromatische 160—171; zweischalige 98, 124, 125.
Flächenfarben 198.
Flächeninhalte 442.
Flächennormale Einstellung 615, 616.
Flammen, monochromatische 242.
Fleischl v. Marxon Bromnatriumlicht 242.
Fletcher Indikatrix 95; Indikatrix und Wellengeschwindigkeitsfläche 96.
Flett 635.
Fleuriau de Bellevue 319, 719.
Flintglas Brechung 302.
Flintglasmenisken 312.
Flintglaszylinder von Bertrand 455.
Florence Opakilluminator 379.
Florence. W. 747.
Fluor 756.
Fluorborat 758.
Fluoreszenz 210.
Fluoriteinschlüsse 795.
Fluoritsysteme 341.
Fluorkalium-Aufschluß 754.
Fluorwasserstoff 756.
Flüssigkeiten, schwere 685—695.
Flüssigkeitseinschlüsse 778—781; Entstehung 783—784, künstliche 796.
Flußsäure als Reagens 746, 756; zur Ätzung 740; zur Farbenreaktion 736; zur Trennung 727.
Fock Mischungsformel 68.
Fokometer 281, 285.
Format der Dünnschliffe 18.
Formeln Fresnelsche 148; Linsen 268.
Förster 423.
Fortpflanzungsgeschwindigkeit 45, 46, 47, 144.
Foucault Dispersion der Doppelbrechung 573; Monochromator 246; Prisma 234.
Fouqué chemische Trennung 726; Historisches 321; magnetische Trennung 720; Sphärokristalle 802.
Francotte 421 Anm. 1.
Frankenheim Änderung der Symmetrie durch Erhitzung 216; Historisches 320; Kristallwachstum 769; Mikroskop 382; orientierte Kristallisationen 786; Verwachsungen 786.
Fraunhofer Beugungsspektren 330; Linien 59, 252; Lupe 311; Objektive 288.
Freier Objektabstand 342.
Frémont 375.
Fresnel Elastizitätsfläche 124; Ellipsoide 94, 99—101, 104; Einschalige Flächen 93; Erscheinungen bei Kalkspat 80; Fundamentalformel 144; Gesetze 137; Konstruktion 113—115, 493; Lage der Schwingungsebenen 46, 219; Lage der Schwingungsrichtungen 85; Lichtausbreitung in zweiachsigen Kristallen 103, 160; optische Achsen 113; Prinzip der Interferenzen 43; seine Vorläufer 42; Undulationstheorie 43, 44, 84; Ursache der Lichtfortpflanzung 46; Vektor 84; Wellenfläche 98.
Fresnel-Aragosche Gesetze 137.
Frey 427.
Friedel 197, 581.
Frontkreuz 456.
Frosterus 748.
Fuchs Glühen von Olivin 741; Mikroreaktionen 743; Pyroxen und Amphibol 741.
Fuchsinfärbung 209.
Fuchsinlösung 735.
Fülleborn-Winkel 423.
Fundamentalformel Fresnelsche 144—152; Linsen 263—268.
Fundamentalversuch Huygens 82.
Fueß Achsenwinkelapparat 614: Amici-Bertrandsche Linse 390; Babinetscher Kompensator 568; Camera 419; Comparateur 578 Anm. 3; Doppelschraubenmikrometerokular 436; Erhitzungsapparate 406 Anm. 2, 411; Fedorowscher Tisch 460—463, 500, 519; Gaußsches Glas 378; Goniometer 458, 460—463; Goniometerokular 449; Historisches 395; Irisblende 364, 625; Justierhalbkugel 458; Kitt 15; Kittofen 15; Kondensoren 367; Kreuzschlittentisch 370; Leinöl 229; Mikrorefraktometer 547; Mikroskopbau 395, 396; Mikroskope 384, 386, 404, 515; Monochromator 247; Objektiv Nr. 7 628, 631; Objektivklammer 389; Objektmarkierer 422; orientierte Schliffe 26; Planimeterokular 443; Polarisationslupe 317; Polarisatorkorrektur 394; Quetschmaschine 11; Ramsdenokular mit Irisblende 364; Schleifapparat 26, 33; Schleifmaschine 12; Schneidemaschine 8; Spaltblende 625; Totalreflektometer 652; Trogapparat 460; Wechsel der Beleuchtung 370, 374; Zahnstangenteilung 282.
Fußpunktsfläche 89, 98, 124.

Gangunterschied 128, 141, 566, 569, 579, 581, 582; bei isochromatischen Flächen 161; geringer 582.
Gasbläschen 785.
Gas cavities 777.
Gaseinschlüsse 777; Entstehung 783; optische Erscheinungen 779.

Gasentwicklung bei Sulfiden 734.
Gasheizkondensor 730.
Gasporen 777.
Gassendi 42.
Gäste 776.
Gaubert Farblösungen 747; künstlicher Pleochroismus 197; 209; Sphärolith 800.
Gauß erweiterte Forderung 288; Forderung 294; Hauptebenen 271—280; Spiegelglas 375, 378, 412, 526, 615; Spiegelglas als Zeichenapparat 412.
Gaze 701.
Gebhardtsches Okularmikrometer 437.
Gebirgsbildung, Ursache der Deformationen 806.
Gebrochener Strahl 52.
Gediegen Eisen 753.
Gefärbt 195.
Gehrcke Linsenoptik 254.
Geißler 791.
Geißlersche Röhre 42.
Geitel 196.
Gekreuzte Dispersion 191.
Gekreuzte Nicols 469.
Gelatination 734, 735.
Gelatinierende Silikate 734.
Genauigkeit der stauroskopischen Methoden 485—486.
Geneigte Dispersion 191.
Geologisches Alter 209.
Geometrische Gesteinsanalyse 442—446.
Geometrische Optik 253—300.
Gerhard 11.
Geringste Vergrößerung beim Mikroskop 337.
Gesamtbrennweite bei achromatischer Linse 302; von zwei dünnen Linsen 269.
Geschwindigkeit des Lichtes und Brechung 56.
Geschwindigkeitsellipsen 173, 174.
Gesetze von Fresnel und Arago 137.
Gesichtsfeld, Orientierung im 178 Anm. 1, 390, 583.
Gesichtsfeldblende 325.
Gesteinsglas Berechnung der Lichtbrechung 73.
Gestörte Kristallisation 768.
Gewicht, spezifisches 667.
Gewöhnliches Licht 80.
Gießener Format 18.
Gifford 573 Anm. 2.
Gipsblatt vom Rot I. Ord. 156, 476, 584; Anwendung im konvergenten Licht 641—647; im parallelen Licht 584; bei einachsigen Kristallen 641, 643; bei zweiachsigen Kristallen 643, 645.
Gipskeil 156, 588; Anwendung 647.
Gipsreaktion 750; bei Sodalithgruppe 736.
Gips vom Rot I. Ordnung 156, 476, 584.
Gipszwilling 767; bei Stauroskopie 473.
Gisevius 688 Anm. 1.
Gitterspektrum 251.
Gladstone Gesetz 68, 69; Refraktionskonstante 62.
Glan-Foucaultsches Prisma 235.
Glansches Prisma 234.
Glan-Thompsonsches Prisma 230, 235.
Glaseinschlüsse 784.
Glaskügelchen bei Konoskop 626, 640.
Glasplattensatz 220, 221.
Glass cavities 784.
Glasschwimmer 696.
Glasstab zur Beleuchtung 423.
Glaswürfel, Bertrandscher 453.
Glaukisieren 196.
Glazebrook 227 Anm. 7.
Gleichen Linsenoptik 253, 254.
Gleitflächen 663.
Gliederung des Stoffes 3.
Glimmer Färbung 737.
Glimmerapertometer 356—358.
Glimmerblatt 156; Anwendung im konvergenten Licht 641—647; bei einachsigen Mineralien 641; bei zweiachsigen Mineralien 645; sehr dünn 350, 645.
Glimmerdoppelplatte Bravais 478; Königsberger 479; Traube 484.
Glimmerkeil 581.
Glimmerkombinationen von Nörrenberg 215; von Reusch 215.
Glimmerzwilling 479.
Globosphärite 770.
Globulite 769—772.
Glühen von Dünnschliffen 740—742; von Olivin 741; von Turmalin 741.
Glyzerintröpfchen bei Konoskop 625.
Goldschmidt Indikatoren 707, 708; Lösung 678, 685; orientierte Schliffe 26; Trennungsbecher 708.
Goniometer einkreisige 458—461; mehrkreisige 461—464; Okular 449; Websky-Fueßsches als Achsenwinkelapparat 616; zweikreisige 34, 461—464.
Graber 744.
Grabham Beckesche Linie 555; Schieberblende 133 Anm. 1, 547, 589.
Graeff Reaktion auf Cl 737.
Graham Indikatoren 682.
Graham-Otto-Rimbach Literatur über Refraktionskonstante 64.
Grailich Härte 664.
Granigg 729.
Granophyrische Struktur 786.
Granosphärite 798, 804—805.
Graphische Lösung von Fedorow, de Souza-Brandão und Wright 603; von Hutchinson 658; von Wright 578; von Wülfing 604.
Graphit 758; Verbrennen 741.
Greenoughsche Lupe 314.
Greims 739.
Grengg 21.
Grenze der Sichtbarkeit im Mikroskop 336.
Grenzwinkel 53, 54.

Griesgaze 701.
Grobbewegung des Tubus 382, 388, 391, 393.
Grossesches Prisma 236.
Großpietsch orientierte Schliffe 26, 34; Plagioklase 510; Resinit 34.
Groth Erhitzungsmikroskop 407.
Grundverbindungen, ihr Refraktionsäquivalent 72.
Grundvorstellungen der Kristalloptik 41.
Gudden 207.
Gümbel, v. Aggregate 801; Einschlüsse 788, 795; Enhydros 795; Glühen von Dünnschliffen 740 Anm. 2; Mineralkohlen 758 Anm. 1; Sphärokristalle 801.
Guyot-Lupold 40.

Hackl 746
Haematoxylon campechianum 738.
Hagen 2.
Haidinger Absorptionsbüschel 201; Achsenfarben 199; Basisfarbe 198; Flächenfarbe 198; Pleochroismus 197; Polarisationsbüschel 202.
Haidingersche Lupe 198, 594, 595.
Halbkugel Abbe 651; Adams 459, 462, 520, 527, 627; Bertrand 650; Schroeder van der Kolk 459; Totalreflektometer 650—651.
Halbmesser, konjugierte 96.
Halbschattenvorrichtungen 481—486.
Halle, B. Härte 665; Leinöl 229; Polarisationsprismen 238.
Halle, G. Dichroskop 595; Schleifapparat 26.
Hamberg 456.
Hamburger Mineralogische Sammlung 778.
Hamilton 118.
Hammer und Meißel 4.
Handwörterbuch der Naturwissenschaften, Linsenoptik 254.
Haradascher Trennungsapparat 710.
Hardystonit anomale Interferenzfarbe 137.
Harker Auslöschungsschiefe 464, 465.
Harmonische Bewegung 143.
Harmotom Färbung 738.
Härte 664—666; und Atomgewicht 666; und Dichte 666; und Spaltbarkeit 666.
Härteskala nach Lane 664; nach Mohs 664, 665; nach Rosiwal 665.
Harting Kristallwachstum 769; Mikroreaktionen 743.
Harting und Hewitt 375.
Hartley Brownsche Bewegung 783; Trennungsapparat 717.
Hartmann 61.
Hartnack-Fueßsche Objektive 286, 628, 631.
Hartnack-Oberhäusersches Stativ 396.
Hartnack-Prazmowskisches Prisma 227.
Hasert 227.
Hastings, Farmer- 75 Anm. 2.
Hatsch 207.
Hauenschildscher Trennungsapparat 714.
Hauptachse 102.
Hauptbrechungsindizes 126.
Hauptebenen 255.
Hauptlichtgeschwindigkeiten 126.
Hauptpunkte 255.
Hauptschnitt, optischer bei einachsigen Kristallen 81, 102, 177; bei zweiachsigen Kristallen 113.
Hauptstrahlengeschwindigkeiten 126.
Hauptvektoren 126
Hauptwellengeschwindigkeiten 126.
Haushofer Filtrierapparat 731; Fluorkaliumaufschluß 754; Literatur 743; Mikroreaktionen auf Barium 749, Beryllium 752, Cerium 755, Chlor 756, Chrom 754, Lithium 749, Molybdän 760, Niob 760, 761, Tantal 760, 761, Vanadium 761, Wolfram 760, Yttrium 755, Zinn 759; Perlenreaktion 747 Anm. 3.
Hauswaldt Tafelwerk 178, 182 Anm. 1, 186, 476; Turmalinanalysator 221.
Hawes Brownsche Bewegung 783; Historisches 321.
Heath Linsenoptik 253; Lupe 311.
Hebelwage 684.
Hecht Achsenwinkelmessung 607; Sorbysches Phänomen 538.
Heeger 752 Anm. 3.
Heidelberger Format 18.
Heizkondensor 730.
Heliostat 248.
Helium bei pleochroitischen Höfen 208.
Helles Kreuz 178.
Helligkeit der Farben 152, 251.
Helmholtz, v. Monochromator 246; Sinusbedingung 296.
Heraeus Quecksilberbogenlampe 245.
Herbert Smith Schneidemaschine 8; Schleifmaschine 12; Totalreflektometer 650.
Herrichtung Fedorowsches Mikroskop 521—527; Mikroskop 427—434; Stauroskop 467—474; Totalreflektometer 653—656.
Herrichtung der Dünnschliffe zu chemischen Untersuchungen 732.
Herschel idiozyklophane Kristalle 202.
Hertz Elektromagnetische Wellen 44; Härte 666.
Herzog von Chaulnessche Methode 533—536.
Heterogene Aggregate 797.
Heulandit Färbung 738.
Hewitt 375.
Hexagonale Kristalle 51, 102, 152, 153, 178.
Highley Goniometer 461; Polarisationsmikroskop 382.
Hilfsapparate, mikroskopische 412—426.
Hilfsmikroskop bei Konoskop 623.
Hilger Prisma für Monochromator 246.
Hillebrand Dichte 678 Anm. 1; Thouletsche Lösung 687.

Hilton 172 Anm. 1.
Hinden 738 Anm. 2.
Hinrichs Linsenoptik 254.
Hintze blaues Steinsalz 196.
Hirschwald drehbare Nicols 403; Flächenmessung 442; Mikroskopgoniometer 455; Planimeterokular 442.
Hittorfsche Röhre 42.
Hlawatsch anomale Interferenzfarben 134; Babinetscher Kompensator 572.
Höfe bei Kristallisation 762; pleochroitische 206.
Höfle 685.
Hofmann-Degen 134, 137.
Holmquist Flußsäurenachweis 759 Anm. 1; Härte 666.
Holzkistchen für Dünnschliffe 18.
Homodrom 174, 180.
Homogene Aggregate 797.
Homogene Immersion 341, 346.
Homogenes Licht 239—252.
Hörner Clericische Lösung 692; Schleifmaschine 38.
Hotchkiss 555.
Hövermann 207.
Hübl, v. 241.
Hundeshagen Mineralfärbung 737.
Hutchinson graphische Lösung 658.
Huygens Elementarwelle 43; Fundamentalversuch 79—82; Konstruktion bei isotropen (54, 55) und einachsigen (77—79) Medien; Okular 262, 291, 305, 310, 311; Prinzip der einhüllenden Wellen 43, 54, 55; Strahlenfläche 75, 98; Strahlenfläche bei Kalkspat 74; Undulationstheorie 42, 43.
Huygenssches Okular Aberration 291; Achromasie 305; als Lupe 311; Augenglas 310; Strahlengang 261, 262, 323.
Hydrargyrum bijodatum rubrum 685.
Hydrostatische Wage 673, 843.
Hydroxylaminstickstoff 69.
Hydroxylsauerstoff 69.
Hyperbeln 172, 182, 184, 188.
Hyperbelsäume 190—194.
Hyperbelscheitel 184, 601, 636.
Hyperbolische Büschel 203.
Hypidiomorph 763.

Idiochromatisch 195.
Idiomorph 763.
Idiozyklophane Kristalle 202.
Ignatowsky, v. Prisma 238.
Immersionsflüssigkeit 293, 347.
Immersionssystem 293, 341, 346; für Achsenwinkelmessungen 618, 633, 634; Prüfung 347; große Apertur 185, 347.
Indexellipsoid 125.
Indexfläche bei einachsigen Medien 91—93, 98; bei zweiachsigen Medien 108, 112, 125.
Index surface 125.
Indikatoren zur Bestimmung der Lichtbrechung 554; zur Dichtebestimmung 682.
Indikatrix 64, 95, 99.
Individualisierte Einschlüsse 776, 785.
Induktorium 245.
Innenanalysator 390.
Inostranzeff, v. 598.
Intensität des Lichtes 47, 251.
Intensive Lichtquelle 249.
Interferenzbilder 178, 179, 182, 186, 188, 190, 192, 193, 194.
Interferenzerscheinungen 127—194; im konvergenten Licht 159—194; im Konoskop 611—614; im parallelen Licht 139—156; zur Diagnose 600—611.
Interferenzfarben 41—133, Taf. I; Abweichung von Newtonschen Farben 133—137; Skala 131.
Interferenzringe bei einachsigen Kristallen im konvergenten Licht 177, 178; im Newtonschen Farbenglas 127.
Internationale Farbenskala 591.
Interpositionen 776, 787; peripherische 787; zentrale 787; zonare 787.
Inzidenzwinkel 53.
Irisblende 325, 364, 624; bei Totalreflektometer 651.
Isländer Doppelspat 74; Hauptbrechungsindizes 54, 60, 95.
Isochromatische Flächen 160, 169.
Isochromatische Kurven 171, 176; ihre Wanderung 648.
Isochromatische Ringe 177.
Isogyren 159, 172—176, 188.
Isomorphe Mischung 669.
Isomorphe Schichtung 775.
Isotrope Blättchen 48, 52; beim Erhitzen 216; im parallelen Licht 139.
Ites Absorption 198, 596.

Jaggar Goniometer 461; Mikrosklerometer 664.
Jamin Polarisationsprisma 237.
Jannasch 70 Anm. 1.
Jellet 482.
Jentzsch Erhitzungsmikroskop 406; Heiztisch 409; Monochromator 252.
Jenzsch 320.
Jodbarium-Jodquecksilber Lösung 689.
Jodkalium-Jodquecksilber Lösung 685.
Jodmethylen 690.
Jodoform 691.
Jodsilber- und Silbernitratschmelze 694.
Johannsen Diatomaceenplatte 348; Glaskügelchen 626; Planimeter 442.
Johnsen Auslöschungsschiefe 465; Haradascher Trichter 710; Indikatoren 707; Kohlensäureeinschlüsse 794; pleochroitische Höfe 209; Struktureigenschaften 663 Anm. 3.
Jolly Federwage 684 Anm. 1.

Joly Flächenmessung 442; pleochroitische Höfe 208; Schwimmermethode 695; Vertikalilluminator 378.
Jost 64.
Julien 790, 792, 793.
Justierung des Fedorowschen Mikroskops 523—527; des Mikroskops 427—434.
Justiervorrichtung nach Brögger 458; nach Lattermann 457; von Stöber 656.
Justit 137.

Kaiser Trennungsapparat 714.
Kalibrierung von Mikrometerschrauben 439.
Kalium 747.
Kaliumfluorborat 758.
Kaliumquecksilberjodidlösung 678, 685.
Kalkkarbonat in Einschlüssen 794.
Kalkowsky Konische Refraktion 119 Anm. 1, 154 Anm. 1; Sphärolithe 800; Steinsäge 6.
Kalkspat Berechnung der Doppelbrechung 93; Hauptbrechungsindizes 60, 90; und Aragonit 751.
Kämmerer 174 Anm. 1.
Kanadabalsam als Kittmittel 11; Anwendung 14; Brechungsindex 14; Ränder 565.
Kanadabalsamkitt 11.
Kanadabalsamkittung bei Prismen 231.
Kanonikoff 69.
Kanthack Linsenoptik 253.
Kapillarpipette 733.
Karbonate 733; und Brucit 742.
Karbonylsauerstoff 69.
Karborundum 13, 37.
Karpinsky 689 Anm. 2.
Kartesisches Ovaloid 258.
Kästchen für Dünnschliffe 18.
Kathodolumineszenz 42, 210.
Kayser Chemische Trennung 728.
Kegel der äußern konischen Refraktion 119; der innern konischen Refraktion 119.
Keil von Gips (Quarz) 588, 647; von Glimmer 581; nach Siedentopf 581.
Keilförmige Zwillingslamellen 159.
Kellner Okular 365; Polarisationsmikroskop 382.
Kenneth-Mees Lichtfilter 241.
Kenngott 666.
Ketteler Refraktionskonstante 64.
Kieselflußsäure als Reagens 744.
Kieselsäure 758.
Kieselsäuregelatination 735.
Kip 664.
Kipp und Zonen 425.
Kirchhoff Achsenwinkelmessung 605—607.
Kissenform bei Abbildung 299, 300.
Kitt 15, 34.
Kittofen 15.
Klammer für Fokometer 282; für Objektive nach Czapski 391, nach Fueß 389, nach Leitz 399, 401, nach Nachet 389.
Klassische Linsenformel 268.
Klatt 211 Anm. 3.
Klein-Biotsche Quarzplatte 477.
Klein, C. Anomale Interferenzfarbe 134; Aetzfiguren 739; drehbare Nicols 394; Erhitzung der Zeolithe 216 Anm. 6; Erhitzungsmikroskop 406; Historisches 321; Konoskop 620; Lupe 620—624, 628; mehrkreisige Goniometer 462—464; Mikroskop 389, 390; optische Anomalien 212, 215, 216; Polarisatorkorrektur 394; Quarzplatte 477; sphärische Kristallaggregate 804; Totalreflektometer 651—653; Trogapparat 460.
Klein, D. Lösung 687; Schmelze 693.
Kleinsche Lösung 687, 693.
Klein, W. 213, 216 Anm. 6, 217.
Klement Mikroreaktionen 743.
Klemm 472.
Kley Opakilluminator 379.
Kley, P. D. C. Mikroreaktionen 744.
Klincksieck 591.
Klocke Optische Anomalien 212.
Klönne u. Müller 421.
Knäuelartige Kristallgruppen 801.
Knickungen der Einsprenglinge 805.
Knoll u. Co. 34.
Knop Ätzfiguren 740; Glühreaktion 741; Historisches 320; Diamanteinschlüsse 740.
Kobalt 754.
Kobaltnitratlösung 741, 742; als Reagens 741, 751.
Kobaltsolution 741.
Kobell, v. 318 Anm. 2; Auslösungsschiefe 464; Stauroskopie 466, 475.
Kochsalzeinschlüsse 795.
Kochsalzlicht 242.
Kochs-Wolz 423.
Kodein zur Färbung 747.
Kohäsion 661.
Kohlensäure in Einschlüssen 788—794; Nachweis im Dünnschliff 733.
Kohlenstoff 758.
Köhler, A. Beckesche Linie 555; Empfindliche Farbe 585; Lichtfilter 241; Natriumlampe 243; sehr dünnes Glimmerblatt 645.
Kohlige Partikel 741.
Kohlrausch, F. 649, 695.
Kohlrausch, W. 75 Anm. 2.
Kolb 218 Anm. 1.
Kollektivglas 359.
Koller 241.
Kollimator 456, 614, 616.
Kolloidale Tonerde 754.
Kollolith 15.
Kombinationskeil 587, 588.
Kompensationserscheinungen 156.
Kompensationsokulare 340.
Kompensator von Babinet 567; Auswertung 572; zur Bestimmung des optischen Charakters 590.
Komplanatisches Okular 365.

Komplementärfarben 130, 131.
Kondensor 367, 377; Cardioid 375, 377; für Dunkelfeldbeleuchtung 374, 377; mit beweglicher Frontlinse 458; mit Immersionsbecken 461; mit Heizung 730; nach Brunnée 371; nach Metz 367; Paraboloid 375, 377; von Fueß 367, Leitz 361, Seibert 367, Winkel 369, Zeiß 367.
Kondensorlinse 366.
Kondensorsystem 366—369.
Kongorotlösung 751.
König, A. Linsenoptik 253.
Königsberger Absorption 198; Anisotrope opake Mineralien 478; Bravaissche Doppelplatte 478; geringer Gangunterschied 582; Schleifmaschine 38 Anm. 2; Vertikalilluminator 378.
König, W. 95 Anm. 1.
Konische Refraktion äußere 118; innere 118.
Konjugierte Halbmesser 96; Punkte 259; Strahlen 259.
Konkavkonvexe Linse 255.
Konometer 614 Anm. 1.
Konoskop 614, 617—639; und Mikroskop 619.
Konoskopachse 429.
Konstante, Mallardsche 630.
Konstruktionsellipsoid 124.
Kontrastchromator 592.
Konventionelle Sehweite 309, 361.
Konvergentes Licht 138, 613; Erscheinungen 159—194.
Konvexkonkave Linse 255.
Korda 719 Anm. 13, 726 Anm. 1.
Koristka 372.
Korrektionsfassung 345.
Korreng 25.
Korrigiertes System 291.
Kraatz-Kochlau, v. 196.
Krafft u. Seibert 382.
Kramer 53 Anm. 1.
Krantz 707.
Kratzert 506, 747; -Wülfing 510.
Kraus 407, 684.
Krebs, B. 506.
Krech 752 Anm. 3.
Kreider 717 Anm. 5.
Kreisschnitte der Indikatrix 104, 126.
Kreusler Thalliumlampe 243.
Kreutz Ausdehnung der Meigenschen Reaktion 751; Babinetscher Kompensator 572; Färbungen 196.
Kreuz der Interferenzfigur 178, 182.
Kreuzschlittentisch 370, 395, 399, 450 Anm. 1.
Kreuzung der Nicols 469—470.
Kristallbildung 762.
Kristalle Einteilung 48; in den Flüssigkeitseinschlüssen 794.
Kristallgruppen 801.
Kristallisationshof 762.
Kristallisationskraft 771.
Kristallisationsmikroskop 404.
Kristallite 769.
Kristallolumineszenz 41, 210, 211.
Kristalloptik Grundvorstellungen 41.
Kristallskelett 763, 772.
Kristallsystem reguläres 50; tetragonales 50, 102, 176, 216; hexagonales 50, 102, 176, 216; trigonales 51, 102, 176, 216; rhombisches 50, 126, 181, 189, 217; monoklines 51, 126, 181, 191, 217; triklines 51, 126, 181, 194, 217.
Kristallwachstum 762.
Krümmung der Bildebene 299, 340.
Krümmungsmittelpunkt bei der Linse 264.
Krümmungsradien der Linse 255, 264; Vorzeichen 267.
Kryptolith 785.
Krysinski 451.
Ktenas 207.
Küch u. Retschinsky 246 Anm. 1.
Kugelellipsen 173.
Kugelgelenkjustierung 458.
Kugelige Aggregate 797, 798, 800, 801, 804, 805.
Kugellinsen 256.
Kugelsegmente 459, 462, 520, 527, 627.
Kugelwellen 43, 612.
Kühn Schlämmzylinder 703.
Kumulite 769.
Kundt 207.
Künstliche Flüssigkeitseinschlüsse 796.
Kupferoxyd bei Aetzfiguren 740.
Kupferoxydulgläser 239, 573.
Kurve der Helligkeit 251.
Kurven gleichen Gangunterschiedes 171.
Kurven gleicher Schwingungsrichtung 172—176.
Kurzsichtige Beobachter 310, 362.
Kuznitzki 366.

Labradorisieren 196.
Lacroix Historisches 321; pleochroitische Höfe 207; Wellengeschwindigkeitsfläche 96; Zwillingskristalle 157 Anm. 1.
Lage der Vektoren 464—532, 583.
Lage von Bild und Objekt 259.
Lambert 249.
Landolt Atomrefraktion 69; Halbschattenvorrichtungen 483; Lichtfilter 240; Monochromator 246; Refraktionskonstante 62.
Landolt-Börnsteinsche Tabellen 59, 550.
Landoltsches Gesetz 69.
Lane Achsenwinkel 578; Auslöschungsschiefe 492 und zugehörige Berichtigung 847; Dunkle Härteskala 664; Umrisse der Kristalldurchschnitte 764.
Lang, V. v. 62.
Längenmessung u. d. M. 436.
Lapis Bononiensis 211.
Laplace 62.

Larsen Einbettungsflüssigkeiten 550 Anm. 2, 553 Anm. 1.
Lasaulx, v. Eisenreaktion 753; Historischs 321; Konoskop 619—621, 623.
Laspeyres Absorption 200; Beleuchtungswechsel 370; Konoskop 621; Lampe 243; Lupe 621—624; Trennungsapparat 713—714.
Lattermann Justiervorrichtung 457; Schlagfigurenapparat 5.
La Touche siehe Nachtrag 847 zu 673.
Laumontit Färbung 739.
Lavendelöl bei Gelatinationen 736.
Le Blanc 64 Anm. 1.
Le Chatelier Densivolumeter 675; Dichte 667; Pyrometer 407.
Ledermüller 319.
Leesonsche Fassung 448.
Leeuwenhoek 318.
Leeuwenhoek-Lieberkühnsche Spiegel 375.
Lehmann, H. UV-Filterlampe 241.
Lehmann, O. Enantiotropie 216; Erhitzungsmikroskop 404, 730; Kristallisationshof 762; Kristallwachstum 769, 771; Pleochroismus 209; Spektrallampe 244; Sphärokristalle 801; Trichitenbildung 773.
Leinöl Brechungsindex 229.
Leinölkittung bei Prismen 228, 231.
Leiß Beleuchtungswechsel 372 Anm. 3; Bimssteinplatte 243; Birefraktometer 580 Anm. 2; Camera 420 Anm. 1; Comparateur 578 Anm. 3; Laspeyressche Lupe 621, 622; mehrkreisige Goniometer 462; Mikroskopbau 396; Objektmarkierer 423 Anm. 1; Okulardichroskop 596; Prisma 238; Schleifmaschine 12; Theodolitmikroskop 516; Totalreflektometer 651, 653; Tubus für Mikroskope 389 Anm. 1, 394 Anm. 1; Ultraviolett-Monochromator 250.
Leitz Amicische Linse 623; Beleuchtungslinse 426; Bogenlampe 426; Erhitzungsmikroskop 409, 410; Fedorowscher Tisch 521; Kondensor 367, 377; Lupe 312, 316; Mikroskop 401, 402, 416; Mikroskopbau 396; Monochromator 250; Objektive 343, 346; Objektivzange 401; Okulare 364, 366; Okularspektroskop 593; Opakilluminator 380, 381; orthoskopische Lupe 312; Schraubenmikrometerokular 436; Stufenmikrometer 438; Vergleichsmikroskop 600; Wechsel der Beleuchtung 371; Zeichenokular 416; Zeichenspiegel 418.
Lemberg Aluminiumchlorid-Reagens 752; Chlorreaktion 737; Cyankaliumlösung 734; Dolomitreaktion 752 Anm. 2; Glühreaktion 74; Karbonate und Brucit 742; Niederschlagsreaktion 738, 739, 742; Umwandlung der Feldspäte 727.
Lemniskaten 182; ihr Wandern 647-649.
Lenard 210, 211.
Lenk 628.
Levy, F. 425.
Lévy, L. Farblösungen 747, 759.
Lévy, Michel s. Michel-Lévy.
Leuchtbakterien 212.
Leuchtkäfer 42, 212.
Leukozyhlitfarben 136.
Leydolt Ätzfiguren 739; Kristallite 772.
Libelle 779; doppelte 779, 789, 790.
Libellendreifuß 27.
Licht gewöhnliches 80; konvergentes 138, 159, 600; paralleles 139, 159; polarisiertes 79.
Lichtäther 42.
Lichtausbreitung 52; in beliebiger Richtung bei zweiachsigen Kristallen 115.
Lichtbewegung anisotropen Medien 74; analytische Darstellung 142—144; isotropen Medien 52.
Lichtbrechung 52—58; Bestimmung 533—565; Tabelle 810—811.
Lichtbrechungsindikatoren 554.
Lichtbündel 138.
Lichtbüschel 138.
Lichtfilter 239—241; Schwerpunkt 573.
Lichtgeschwindigkeit und Brechungsindex 56, 57; und Ätherelastizität 46.
Lichtintensität 47.
Lichtqualitäten 59.
Lichtquelle, intensive 249.
Lichtschwingungen 42, 142.
Lichtstärke und Apertur 286—287.
Lichtstrahl und Wellennormale 78, 85.
Lichttheorien 41—45.
Lichtvektor 46, 84.
Lieberkühnsche Spiegel 375.
Liebisch Absorptionsbüschel 201, 202, 204; Dichroskop 595; Hauswaldtsche Photographien 183 Anm. 1; Indikatrix und Wellengeschwindigkeit 96; isochromatische Flächen 160 Anm. 6; Isogyren 172 Anm. 1; Kritik der Messungen Kohlrauschs 75 Anm. 2; Lichtausbreitung 123; Lumineszenz 211; Mikroskop 386; Objektiv von großer Apertur 201; Prismenmethode 650; Sorbysches Phänomen 538; Totalreflektometer 650; Totalreflexion 660, 661.
Liebisch-Fueß Polarisationsmikroskop 386.
Liliputbogenlampe 426.
Lincio 573.
Linck, G. Dolomitreaktion 752; Indikatoren 707; Trennung 718; Trennungsröhrchen 709.
Lines of single normal velocity 117.
Lines of single ray velocity 117.
Linie, Beckesche 554.
Link, H. F. Historisches 320; Wachstum 769.
Linse achromatische 300—305; anastigmatische 299; aplanatische 295; Beleuchtungsverhältnisse 257; Definition 85; nach Amici-Bertrand 622, 629; numerische Apertur 287; Öffnung 286.
Linsenachse 255.

Linsendicke 255.
Linsenformel fundamentale 263.
Linsenoptik 253—300.
Linsenränder Polarisation 349, 350.
Linsenscheitel 255.
Linsensystem, korrigiertes 291.
Linse und Auge 254, 360.
Lippich Linsenoptik 253; Monochromator 246.
Literatur, zusammenfassende zum Polarisationsmikroskop 318 Anm. 2; zur Auslöschungsschiefe 464; zur Auswertung des Babinetschen Kompensators 572; zur Beckeschen Achsenwinkelmessung 637; zur Beckeschen Linie 555; zur geometrischen Optik 253; zur Mikrochemie 742; zur Universalmethode 498.
Lithium 749.
Lithiumlicht 242.
Lithokoll 15.
Lloyd 118, 119 Anm. 1.
Lommel Isogyren 172; Lage der spitzen Bisektrix 180, 645, 647; Optischer Charakter 645, 647; Prisma 237.
Longulite 770.
Lorentz Refraktionskonstante 63, 69.
Lorenz Refraktionskonstante 63, 69.
Lorenzo, de 550.
Loretz 801.
Lose Massen Präparation 22.
Löslichkeit der Dünnschliffe 733.
Lösungen, schwere 685—695.
Lösungsmantel 762.
Lösungsmittel für Dünnschliffe Alkalien 740; Cyankalium 734; Eisenchlorid 738; Essigsäure 733, 740; Flußsäure 727, 736, 740, 744; Kieselflußsäure 740, 744; Salpetersäure 737; Salzsäure 727, 734, 740; Schwefelsäure 727, 740, 744.
Löwe, F. Linsenoptik 253; Prisma für Monochromator 246.
Loewinson-Lessing Molekularvolumen 671.
Luczizky 510.
Luedecke 717.
Luft Brechungsindex 57.
Luftblase 779.
Luftporen 777.
Lumineszenz 210—212.
Lummer Cartesische Flächen 258; Linsenoptik 254.
Lupe Anastigmatische Doppel- 316; auf Stativ 316; binokulare 313; Camera zur Lupe 315; Demonstrationslupe 317; Exkursionslupe 316; mit polarisiertem Licht 317, nach Brewster 311, Brücke 315, Chevalier 315, Coddington 311, Fraunhofer 311, Greenough 314, Haidinger 594, Heath 311, Klein 620, 628, Laspeyres 308, 621, 622, v. Rohr 312, Stanhope 311, Steinheil 311, Weinschenk 318, Wilson 311, Wollaston 311; orthoskopische 312; Präparierlupe 317; stereoskopische 314; Strahlengang 305-310; Taschenlupe 316; Uhrmacherlupe 315; Verantlupe 312, Vergrößerung 307; von Fueß 317, 628; Leitz 312, 316, Seibert 317, Zeiss 312—314, 316.
Lupenstativ mit Zeichenspiegel 415.

Macé de Lépinay 484.
Mc. Mahon Lithiumphosphat 749: Mikroreaktionen 743.
Mackie 676 Anm. 1.
Madan Prisma 238.
Magnesia usta 40.
Magnesium 751.
Magnesiumoxyd 40.
Magnesiumplatincyanür 198, 202.
Magneteisen Kristallskelette 763.
Magnetische Trennung 719—725.
Magnetische Verschiebung 84.
Magnetstab 719.
Mahony 587.
Mallard Absorptionsbüschel 201, 203; Achsenwinkel-Näherungsformeln 121; Amici-Bertrandsche Methode 629; Anomalien 214, 215; Bertinsche Flächen 627; Camera lucida 637 Anm. 1; Dickenbestimmung 576; Doppelbrechung und Farbe 566; Erhitzung 216, 217; Hyperbeln 184; Konstante 630, 634, 635; Messung mit Konoskop 629; Refraktionskonstante 62 Anm. 10, 64, 65; Sphärokristalle 802; Winkelmessung 455.
Mallard-Beckesche Methode 636—639.
Malus Polarisiertes Licht 80, 218.
Mangan 753.
Manganerze Löslichkeit 734.
Mangoldt, v. 110.
Mann Elektromagnet 725; Präparation von Pulvern 24.
Marbach 218 Anm. 1.
Margarite 769.
Marggraf 318.
Markierapparate 421—423.
Marx 318 Anm. 2.
Marxon, Fleischl v. 242.
Maschke 544.
Maskelyne 382.
Mastixfirnis 40.
Maximaldoppelbrechung 577.
Maxwell Lichttheorie 44.
Mayer, P. 550 Anm. 2.
Mechanische Deformationen 805—806.
Medien anisotrope 48; Definition 45, 48; einachsige 74—102; homogene 48; isotrope 48; Übersicht 50, 51; zweiachsige 103—194.
Mehrere anisotrope Blättchen übereinander zwischen gekreuzten Nicols 154—156.
Mehrkreisige Goniometer 461—464.
Meigensche Reaktionen 751.
Meißel und Hammer 4.
Melilith anomale Interferenzfarben 133.

Mengen-Indikatrix 443.
Mennell 207.
Merck Bromoform 692 Anm. 1; Einbettungsflüssigkeit 553; Kanadabalsam 14; Xylolkanadabalsam 16.
Merian Erhitzungsmikroskop 406; optische Anomalien 215.
Meridian-Ellipse 172.
Merkurothalliumnitrat 695.
Merwin 553 Anm. 1; schwere Lösung 682 Anm. 1.
Messung mit dem Mikroskop ebene Winkel 446—449; Flächen 442; Längen 436; räumliche Winkel 449—458.
Messung mit dem Konoskop 626—639.
Messung räumlicher Winkel durch Raumkoordinaten 449; durch Reflexion 455; nach Bertrand 453; nach Fedorow 456.
Metallmikroskope 597.
Methode des Herzogs von Chaulnes 533—536.
Methylenblau 735.
Methylenblaufilter 240.
Methylenjodid-Lösung 690.
Methylgrün 735.
Metz Apertometer 353; Dunkelfeldbeleuchtung 374; Stufenmikrometer 438; Vergleichsmikroskop 598, 600.
Metzner Apertometer 354.
Meyer, A. Mikroskopierlampe 423.
Michel, H. 630 Anm. 1.
Michel-Lévy Achsenwinkelmessung 635; Auslöschungsschiefe 464, 487; Beckesche Methode 562; Chagrin 565; Comparateur 578—580; Dickenmessung 439; Farbentafel 566, Taf. I; Granosphärite 804; Historisches 321; Indikatrix und Wellengeschwindigkeitsfläche 96; keilförmige Zwillingslamellen 159; Lichtbrechungsindikatoren 554; Newtonsche Ordnung der Farben 130 Anm. 3, pleochroitische Höfe 207; Sphärolithe 799 Anm. 1; Zirkonreaktion 759; Zwillingskristalle 156, 157 Anm. 1.
Michel-Lévysche Farbentafel 566—567, Taf. I.
Miculesku Chaulnessche Methode 534 Anm. 1; Messung räumlicher Winkel 451.
Mie 783.
Mieleitner 319 Anm. 1.
Miers 382.
Mikroanalyse 742—761; quantitative 761.
Mikrochemische Reaktionen 742—761.
Mikroexsikkator 730, 748, 757.
Mikrofelsit 801.
Mikrofilter 731.
Mikrolithe 774.
Mikrometer, Möllersches 284, 299, 430.
Mikrometerokular 436—438.
Mikrometerschraube Korrektion 439—441; Tisch 387, 399, 436; Tubus 382, 393, 396, 397.
Mikrophotographische Vorrichtungen 408, 419.
Mikroplakite 774.
Mikrorefraktometer 547, 554.
Mikroskop à distance 730; einfaches 305; für Werkstoffuntersuchung 597; Herrichtung zum Gebrauch 427—434; Historisches 318—322; Messungen 436—461; mit Polarisation 381—404; und Konoskop 619; zusammengesetztes 318.
Mikroskopachse 428.
Mikroskopgoniometer 455.
Mikroskopierglühlampe 243.
Mikroskopierlampen 423—426.
Mikroskopiker, ungeübte 361.
Mikroskopische Hilfsapparate 412—426.
Mikrospektroskop 594.
Mimesien 215, 766.
Mimetische Kristalle 215, 766.
Mineralkohlen 758 Anm. 1.
Mineralpulver Dünnschliffe 24.
Minimalablenkung Prismenwinkel 54.
Mischungen Brechungsindizes 65.
Mischungsregel 67.
Mittlere Dispersion 59.
Mohrsches Salz als Reagens 751.
Mohs Fluoreszenz 211; Härteskala 664.
Moigno optische Anomalien 213.
Molekularbewegung, Brownsche 771, 781—783.
Molekulare Spannung 214, 778.
Molekularrefraktion 68; von Adular 71; von Anorthit-Wollastonit-Granat 70; Diopsid 73; Tabelle 72.
Molekularvolumen 670; Tabelle 672.
Möller Diatomaceenplatte 348; Objektmikrometer 299, 430, 434; Okularmikrometer 284, 434, 437; photographierte Skalen 434; quadrierte Skalen 299, 430, 538.
Molybdän 760.
Monnier 744.
Monobromnaphthalin-Immersion 618.
Monochromatische Flammen 242—244.
Monochromatisches Licht 242—252.
Monochromator 246—252.
Monokline Kristalle 123; Achsenpräparate 153—154; Dispersionserscheinungen 191—194; optische Änderungen mit der Temperatur 217.
Moore 678.
Morley 348.
Morphin zur Färbung 747.
Morphologische Eigenschaften 762—807.
Morphologische Konstanten der Plagioklase 507.
Morphologische und optische Symmetrie 50—51.
Mörtelstruktur 806.
Moses 649 Anm. 1.
Mügge Haradascher Trichter 710; Indikatoren 707; künstlicher Pleochroismus

210; optische Anomalien 215; pleochroitische Höfe 207—209; Verwachsungen 786.
Mühlhauser 787.
Müller, E. Härte 664.
Müller, H. J. Farbenbestimmungen 591 Anm. 5.
Müller, Geißlers Nachfolger 714.
Müller-Pouillet Linsenoptik 254; Refraktionskonstante 64.
Müllersche Streifen 135.
Müller und Klönne 421.
Muencke 730.
Murmann und Rotter 471.
Muskovit Färbung 737.
Muthmannsche Lösung 692.
My = μ 11 Anm. 1, 141.

Nachet et fils Amicische Linse 623; Beleuchtungswechsel 371, 372; Mikroskop 391—393; Mikroskopbau 396; Objektivklammer 388; Objektiv von großer Apertur 201; Quarzplatte 586; Trogapparat 460; Vertikalilluminator 379; Zeichenprisma 415.
Nachetsches Prinzip 392. 431.
Nacken Erhitzungsmikroskop 406.
Nägeli u. Schwendener Einkreisiges Goniometer 458; Linsenoptik 253; Polarisationsmikroskop 382.
Nakamura Auslöschungsschiefe 465; Bertrandsche Platte 485.
Naphtaeinschlüsse 794.
Naphtol zur Färbung 747.
Natrium 748.
Natriumlicht 242, 243.
Natriumperoxyd als Reagens 746.
Natriumzirkoniat 759.
Natrolith Färbung 738.
Natronsalpeterkristalle 222.
Naumann 25.
Navarro 452.
Navicula Lyra Ehrbg. 349.
Negative einachsige Kristalle 76.
Negative Kristalle 76, 121, 777.
Negative Linse 254.
Negativer zweiachsiger Kristall 121.
Neodym 594.
Nernst 84.
Nernstlampe 426.
Neumann Interferenzformel 160—168; isochromatische Flächen 164; Lichttheorie 44; Lichtvektor 84; optische Achse 117; zweiachsige Kristalle 160.
Neutraltinte bei Gaußschem Spiegelglas 412.
Newton Farben 127—133, Taf. I; Farbenglas 128; Farben im Babinetschen Kompensator 569, Gipskeil 588, Wrightscher Keil 587; Lichttheorie 42; Reflektoren 301; Refraktionskonstante 61, 68, 69; Ringe 47.
Nickel 753.
Nickelglyoxim 754.
Nickelrohr zur Beleuchtung 423.
Nicol Einschlüsse 795; Kanadabalsam 11; mikroskopische Studien 319; Prisma 222—227.
Nicolhauptschnitte 470; Parallelstellung mit Fadenkreuz 470—474.
Nicols parallele 390; gekreuzte 469; Kreuzung 469.
Niederschlagsreaktion 412.
Nikitin Dickenmessung 442; Ganguntersched 581; Kompensator 582; Mikroskop 515; optischer Charakter 591; Universalmethode 498, 499, 504.
Niob 760.
Nitrate 757.
Nitrilstickstoff 69.
Nitrosodimethylanilin 241.
Nöbelscher Schlämmapparat 705.
Nobert 415 Anm. 1.
Nordenskiöld 759, 792.
Normale einer Platte 602, 608, 610, 615.
Normale einer Welle 52, 87.
Normale Farben 135.
Normalenfläche 124.
Normale, optische 122.
Normalsichtigkeit und Okular 362.
Normal-symmetrische Achsenlage bei der Auslöschungsschiefe 493; bei der Dispersion 191.
Nörrenberg Glimmerkombination 215; Polarisationsinstrument 617.
Nowacki 703.
Numerische Apertur Bestimmung 351—358; Definition 287.

Oebbekescher Trennungsapparat 711—712.
Oberflächen gleichen Ganguntersch iedes 160—171.
Oberhäuser Zeichenapparat 412.
Oberbecksches Volumenometer 675.
Objektabstand 268; freier 342.
Objektführapparat 421.
Objektiv 339—351; achromatisches 301, 302; aplanatisches 294; mit großer Apertur 201, 346, 347; Hartnack-Fueß 286; Konstruktionsgrundlagen 293, 294, 339; Korrektionsfassung 345; Leitz 343, 346; Prüfung 347, 350; Reichert 343, 346; Seibert 343; Winkel 343, 346; Zeiß 343.
Objektivblende 326.
Objektives Sehfeld 326, 342.
Objektivklammer Czapski 391; Fueß 389; Leitz 399, 401; Nachet 389.
Objektivprisma 440.
Objektivrohr 429.
Objektivschlittenwechsler 390.
Objektmarkierer 421—423.
Objektmikrometer 299, 430, 434, 437.
Objektpunkt 259.
Objektträger aus gefirnißtem Glas 730; aus Zelluloid 730; Format 18.

Objekt und Bild 259.
Objektweite 268.
Odén 702.
Öffnung einer Linse 286; eines Fernrohrs 613.
Öffnungswinkel 287.
Okular 358—366; Campanisches 359; Czapskisches mit Irisblende 364, 625, 652; Demonstrationsokular 366; Doppelschraubenmikrometerokular 436; Exnersches (Mikrorefraktometer) 547; Fadenkreuzokular 359, 360; Goniometerokular 449; Huygenssches 261, 262, 291, 305, 310, 311, 322, 359; Kleinsches (Lupe) 628; Kompensationsokulare 365; komplanatisches 365; Mikrometerokular 436; mit Babinetschem Kompensator 568; orthoskopisches (Kellnersches) 365; periplanatisches 349, 365; periskopisches 365; Planimeterokular 442; Ramsdensches 311, 325, 363, 364; Schraubenmikrometerokular 436; Strahlengang 261, 262, 305, 323, 335; Vergleichsokular 599, 600; von Leitz 364, 366; Zeiger-Doppelokular 366.
Okularblenden 325, 364, 624.
Okulardichroskop 596.
Okularfäden Korrektur 469; Neigung der Fäden 468; scharfe Einstellung 361.
Okularmikrometer 284, 436, 437, 629; Gebhardsches 437; Stufenmikrometer 438.
Okularring, verstellbarer 468.
Okularrohr 429.
Okularschraubenmikrometer 436, 629.
Okularspektroskop 593—594.
Öl bei Achsenwinkel 602.
Ölimmersion 341, 346.
Olivin Kristallskelett 763.
Öltropfen in Wasser 779.
Oolithe 801; Pseudo-Oolithe 805.
Opakilluminator 379.
Opal Färbung 738.
Oppenheimer 199 Anm. 1.
Optik, geometrische 253—300.
Optisch dicht 46; dünn 46.
Optische Achsen Dispersion 122; einachsiger Kristalle 102; ihre Brechung 119, 122, 602, 608; und Auslöschungsschiefe 487—497; und Doppelbrechung 120—121; zweiachsiger Kristalle 116—119.
Optische Änderung mit der Temperatur 216—218.
Optische Anomalien 212–216.
OptischeCharakteristik derKristallsysteme, reguläres 50; quadratisches 50, 102, 152, 178; hexagonales 51, 102, 152, 178; trigonales 51, 102, 152, 153, 178; rhombisches 51, 126, 153, 182, 189; monoklines 51, 126, 182, 191; triklines 51, 126, 153, 182, 194; einachsiger Kristalle 102; zweiachsiger Kristalle 126.
Optische Einteilung der Kristalle 48.
Optische Normale 122.
Optischer Charakter 76, 121, 591; Bestimmung im parallelen Licht 583—591; im konvergenten Licht 639—649; der Sphärolithe 800; der Sphärokristalle 803; einer Zone 590; eines Minerals 591.
Optisches Drehungsvermögen 126.
Optische Täuschung beim Relief 565.
Optische und morphologische Symmetrie 48—51.
Optische Untersuchungsmethoden 41—661.
Ordentlicher Brechungsindex 74.
Ordentlicher Strahl 84.
Ordentliches Licht 74.
Ordentliche Welle 89.
Ordnung der Farben 131.
Orientierte Schliffe 26—35.
Orientierung im Gesichtsfeld 178 Anm. 1, 583.
Orthoklas und Quarz 736.
Orthoskopie 299.
Orthoskopisches Okular 365.
Orzi 717.
Osann Glühen von Turmalin 741; Verbrennen von Graphit 741.
Osborne 759 Anm. 1.
Oschatz 12, 25.
Osmond 35.
Osramlampe 425.
Ostwald 591.
Oval der Wellengeschwindigkeiten 89.
Ovaloid bei einachsigen Kristallen 89, 94—95, 99; bei zweiachsigen Kristallen 107, 124.
Ovaloid, kartesisches bei Linsen 258.
Oxyphilie 738.

Paalzowsches Volumenometer 673.
Panebianco Achsenwinkel und Brechungsindizes 120 Anm. 1; Mikroreaktion 751 Anm. 3.
Papaverin zur Färbung 747.
Paraboloid-Kondensor 375, 377.
Parallele Nicols 178, 390.
Paralleles Licht 138.
Parallelschleifer 33.
Parallelstellung = Kreuzstellung 183.
Pariser Rot 40.
Parsons 665.
Partielle Dispersion 59.
Pebal, v. 719.
Pechscheiben 40.
Pedaschenko 472.
Pekárek Härte 664.
Pelikan Anwachspyramiden 776, 787; Tinktion 736.
Pellin und Broca 246.
Pendelbarre 180, 645.
Pendelbewegung 45.
Pendelschwingungen 45, 142.

Penetrationsvermögen 326, 334.
Penfield Dichtebestimmung 673, 674; Thalliummerkuronitrat 695; Trennungsapparat 717—718; Wägerohr 674.
Pennin Absorption 198.
Perimorphosen 786.
Periode der Schwingung 45.
Peripherische Interpositionen 787.
Periplanatische Okulare 349, 365.
Periskopisches Okular 365.
Perlenreaktionen 747.
Perowskit Färbung 747.
Perrin 783.
Petri Historisches 318 Anm. 2, 375 Anm. 2; Lupe 315 Anm. 1.
Petrow Kreuzung der Nicols 469; Literatur 465.
Pfaff Erhitzung 217; Reibschale 796.
Pfaundler Linsenoptik 254.
Pfeiffer 104, 109.
Phase der Schwingung 45, 142.
Phasendifferenz 141, 580.
Phasensprung 128.
Phasenunterschied 141, 580.
Phenol zur Färbung 747.
Phillipsit Färbung 738.
Phosphate Löslichkeit 734.
Phosphor 42, 553, 757.
Phosphoreszenz 210.
Phosphorsalzperle 747 Anm. 3.
Phosphorsäure 734, 757.
Photographische Camera nach Doelter 408; nach Fueß 419; nach Winkel 419.
Photographischer Linsensatz 288.
Photolumineszenz 41, 210.
Photometria von Lambert 249 Anm. 1.
Pickel, J. G. 211.
Pigmentierte Mineralien 195.
Pingos d'agoa 789.
Piperin 553.
Plagioklase 506; Achsenwinkel 511; Ätzung 736; Brechungsindizes 561; Fedorowsches Diagramm 504, 512, 513, Taf. III; Morphologie 507; Optik 510, 511; Zwillingsgesetze 505, 508.
Planimeter 442.
Planimeterokular 442.
Plankonkave Linse 255.
Plankonvexe Linse 255.
Planparallele Platten Herstellung 33.
Platindrahthäkchen 730.
Platinlöffel 746.
Platinschlinge 730.
Platoniker 53.
Plattennormale 602, 608, 610, 615.
Pleochroismus 196—200; künstlicher 209; und Interferenzerscheinungen 204—206; Untersuchungsmethoden 594—596.
Pleochroitische Höfe 206—209; veränderte Doppelbrechung 209.
Pleurosigma 349.
Plücker Elektromagnet 719; erstes Ellipsoid 124; Konstruktionsellipsoid 124; Wasserstoffröhre 244; zweites Ellipsoid 125.
Pockels Absorption 197, 200; Indikatrix und Wellengeschwindigkeitsfläche 96; Lichtausbreitung 123; optische Anomalien 213; Schwingung des Lichtes 85; Zirkularpolarisation 49 Anm. 2.
Pointalit Bogenglühlampe 426.
Polare Achsen 49.
Polarisation 79.
Polarisationsbüschel 202.
Polarisationsebene 84.
Polarisationsinstrument 393, 617, 624.
Polarisationsmikroskope Älteste Typen 381—386; Historisches 318—322; mittlere und kleine 402—404; moderne 386—404.
Polarisationslupe 317, 318.
Polarisationsprismen 222—239; von Abbe 237, Ahrens 236, Bertrand 236, Foucault 234, Glan 234, Grosse 236, Hartnack-Prazmowski 227, Jamin 237, Leiss 237, Lippich 238, Lommel 237, Nicol 222, Ritter-Frank 232, Sang 237, Thompson 227, Wollaston 237.
Polarisationswinkel 219.
Polarisator 138, 381, 384; Anwendung bei der Einbettungsmethode 549; Schwingungsebene 470.
Polarisatoren, drehbare 393, 394, 402, 517.
Polarisierende Prismen 222—239.
Polarisiertes Licht Erklärung 79, 80; Erkennung 218; Herstellung 218—238; Schwingungen desselben in Kristallen 81; und Auge 80, 218.
Polieren 38—41.
Poliermaschine 38.
Poliermittel 40.
Polierrot 35.
Polierte Flächen 35.
Polykras 761.
Polysynthetische Feldspatkristalle 156.
Pope Refraktionskonstante 64, 65.
Popoff 800.
Pöschl 664.
Posejpal Spektrallampe 244.
Positive einachsige Kristalle 76.
Positive Linse 254.
Positive zweiachsige Kristalle 121.
Potter 227.
Pouillet-Müller Linsenoptik 254; Refraktionskonstante 64.
Pozzi-Escot 756.
Präparate Herstellung 4—41.
Präparation loser Massen 22.
Präparationsmethoden 4—41.
Präparierlupe 317.
Praseodym 594.
Prazmowski-Hartnacksches Prisma 227.
Premier ellipsoïde 125.
Primäre optische Achsen 117.
Primäres Interferenzbild 620, 628.
Prinz 778.

Prinzip der einhüllenden Wellen 43; der Interferenzen 44.
Prisma für Monochromator 246.
Prismen, polarisierende 222—238; von Abbe 237; Ahrens 236; Bertrand 236; Foucault 234; Glan 234; Grosse 236; Hartnack-Prazmowski 227; Jamin 237; Leiss 237; Lippich 238; Lommel 237; Nicol 222; Ritter-Frank 232; Sang 237; Thompson 227; Wollaston 237.
Prismenspektrum 251.
Prismenwinkel bei Minimalablenkung 54.
Pritchard 847.
Probiergläserkasten 254.
Projektions-Zeichenapparat 417.
Prüfung der Dünnschliffe a. Löslichkeit 733.
Prüfung der Objektive 347.
Pseudochromatisch 738.
Pseudocumol 16.
Pseudo-Oolithe 805.
Pseudopleochroismus 197.
Pulfrich - Abbesches Totalreflektometer 650, 651; Prinzip bei Totalreflektometer 651; Refraktionskonstante 63 Anm. 1.
Pulver Dünnschliff 24.
Pupille bei Lupe 310; bei Mikroskop 324.
Purpur empfindliches 585.
Pyknometer 677; Füllvorrichtung 678.
Pyrometer 407.

Quadratische Achsenpräparate 153.
Quadratische Kristalle 50, 102, 153, 176—181, 216.
Quadrierte Skala 299, 430, 538.
Quantitative Mikroanalyse 761.
Quarz Doppelbrechung 573; Färbung 738; globulaire 804 Anm. 1; Zirkularpolarisation 477.
Quarzdoppelkeil 479.
Quarzglas - Quecksilberbogenlampe 211, 245.
Quarzkeil 156, 588; am Comparateur 578—580; Anwendung 647; höherer Ordnung 581, 582; von Siedentopf 567 Anm. 1, 581.
Quarzkeilkompensator 581.
Quarznadel für Stauroskopie 472.
Quarzplatte mit empfindlicher Farbe 476; nach der Basis 477; von Bertrand 477; von Biot-Klein 477; Zwillingsplatte nach Wright 484.
Quarzzwillingsplatte 484.
Quecksilberbogenlampe 245.
Quecksilberjodidlösung 685.
Quecksilbernitrat 685.
Quecksilberthalliumnitrat 695.
Quetschmaschine 11.
Quincke Interferenzfarben 130, 131; Sphärokristalle 804.

Radde 591.
Radicke 227.
Radium bei pleochroitischen Höfen 208.
Ramsay Absorptionsachsen 200.
Ramsdensches Okular 311, 363; mit Huygensschem kombiniert 363; mit Irisblende 364, 625, 652.
Rauchquarz Absorption 198.
Rauff orientierte Schliffe 26; Schneidemaschine 7.
Räumliche Anordnung der Einschlüsse 786.
Read 319 Anm. 2.
Reflektierte Beleuchtung bei Totalreflektometer 657.
Reflektierter Strahl 52, 55.
Reflektoren 301.
Reflexion 52.
Reflexionsgoniometer 457.
Reflexionswinkel 53.
Refraktion 52.
Refraktionsäquivalent 68.
Refraktionskonstante 61, 68.
Refraktion, spezifische 61.
Refraktoren 301.
Regel für Gedächtnis Beckesche Linie bei Hebung des Tubus 557; bei der Absorption 198; bei der Einbettungsmethode 549; bei Gipsblatt und konvergentem Licht 644; bei Glimmerblatt und konvergentem Licht 641; Wirkung der Blende bei der Einbettungsmethode 546.
Regellose Aggregate 797.
Regelstellung des Gipsblattes 585, 641.
Reguläre Kristalle 48, 50, 216.
Reichert Erhitzungsmikroskop 408; Goniometerokular 449; Mikroskopbau 396; Mikrorefraktometer 547; Objektive 343, 346; Objektmarkierer 422; Opakilluminatoren 379; Vergleichsmikroskop 598; Zeichentisch 418.
Reinhard 499.
Reinheimer Fedorowsche Methode 532; Kondensorskala 628; Zinkblende 212.
Relative Dispersion 59, 60.
Relative Öffnung 286.
Relativer Wert der Vektoren 123.
Relief 564—565.
Renard Mikroreaktionen 743.
Repetitions-Trennungsapparate 712—718.
Repulsive Kristalle 76.
Resinit 34.
Resorption der Einsprenglinge 807.
Resorzin zur Färbung 747.
Retgers Dichte 669; Einbettungsflüssigkeit 553; Einschlüsse 783; Fehler bei Schwimmermethode 697; schwere Lösungen 691; Schmelzen 553, 694, 695; Schwimmermethode 696; Trennungen 718 Anm. 2.
Reusch Glimmerkombinationen 215; mimetische Kristalle 215; Polarisationsinstrument 617.
Reuter und Steeg siehe Steeg und Reuter.
Revolver für Objektive 389.
Rhodamin 735.

Rhombische Kristalle 123; Achsenpräparate 153, 154; Dispersion 189; optische Änderung mit der Temperatur 217.
Richter Kobaltreaktion 754; Struvit 751.
Richtplatte 13.
Richtungen im Gesichtsfeld 178 Anm. 1, 390, 583.
Riedel 717.
Ringe, isochromatische 177.
Rinne Erhitzung der Zeolithe 216 Anm. 6; Erhitzungsvorrichtung 406, 411; Gipsblatt 645, 646; Linsenränder 350 Anm. 1; optische Änderungen mit der Temperatur 218.
Ritter-Franksches Prisma 232, 233.
Riva 550.
Rochonsches Prisma 448.
Röntgenaufnahme 48.
Rohland 66 Anm. 1.
Rohr, v. Linsenoptik 253; Verant-Lupe 312.
Rohrbach Chiastolith 787; Lösung 689.
Rollet 130 Anm. 1.
Romberg 206 Anm. 5.
Rose 792 Anm. 1.
Rose, G. Änderung des Kristallsystems 216; Historisches 320; Mikroreaktionen 743.
Rose, Heinrich 211.
Rose, Hermann Amyrolin 119 Anm. 1.
Rosenbusch Aussuchen 728; Chlornatriumeinschlüsse 796; Dünnschliffe 12; Einschlüsse 776, 792, 796; Elektromagnet 722; Festschrift 196 Anm. 2; Gipsblatt 645; Haidingersche Lupe 595; Historisches 321; Interpositionen 776; Kohlensäureeinschlüsse 792 Anm. 1; Methoden 2; Methodisches über Auslöschungsschiefe 464; Mikrofilter 731; Mikroreaktionen 743; Mikroskop 382; Okulardichroskop 596; Plan der ersten Auflage 2; Pleochroismus 205, 209; pleochroitische Höfe 206, 207; Sphärolithe 799 Anm. 1; Trennungsapparat 710; „Wirt“ 776.
Rosenbusch-Fueß Polarisationsmikroskop 384.
Rosicky Refraktionskonstante 64 Anm. 8.
Rosiwal Flächenmessung 442; Genauigkeit der Methode 445 Anm. 1; Härteuntersuchung 665; Methode 444.
Ross-Zentmayer 517.
Rotationsdispersion des Quarzes 477.
Rotationsellipsoid 75, 94.
Rotationsovaloid 94.
Rot, empfindliches 585.
Rot erster Ordnung 132, 585.
Rot für Goldpolitur 40; für Stahlpolitur 40.
Roth und Eisenlohr Refraktometrisches Hilfsbuch 64.
Rotter 471.
Rubidium 748.
Rubin-Kupferperle 759.
Rumpf 7.
Rutherford-Joly 209.
Rutil Färbung 747.
Rutley 772.

Sabot 499.
Safranin Färbung 735, 737.
Salomon Beckesche Linie 554, 563; Dichtebestimmung 684.
Salpetersäure 757.
Salzgesteine Dünnschliffe 25.
Salzsäure 756.
Sammellinse 254.
Sanduhrformen 775.
Sang 158; Polarisationsprisma 237.
Sansoni 372.
Sarasin u. Soret 477.
Sauer Chemische Trennung 727; Gipsreaktion 736; Mikroreaktion 736; pleochroitische Höfe 207; Trennungen 718 Anm. 2.
Säuren zur Lösung 735.
Schaffgotsche Lösung 685.
Schaliger Bau 774—775.
Schaller 14.
Scharitzer 794.
Scheerer 320.
Scheffer 241.
Scheidetrichter 709.
Scheinbarer Achsenwinkel 122, 602.
Scheitel einer Linse 255.
Schellack 15.
Schichtung, isomorphe 775.
Schieberblende 545, 547, 589.
Schiefe Beleuchtung 546.
Schiefe der Auslöschung 150, 464—497.
Schiefe Schnitte von einachsigen Kristallen 179; von zweiachsigen Kristallen 187.
Schillern 785, 786.
Schilling 112.
Schlackeneinschlüsse 784.
Schlagfigurenapparat 5.
Schlagnadel 5.
Schlämmanalyse 701—706.
Schlämmapparat von Eichstädt 705; Kühn 703; Schöne 704.
Schlämmmethode 701.
Schlämmtrichter 704, 705.
Schlämmzylinder 703.
Schleifdreifuß 27.
Schleifglas 14.
Schleifmaschine 12, 38.
Schleifplatte 37.
Schliffe von Gesteinen 11—22; von Pulver 22—25; orientierte 26—35.
Schlitten-Objektivwechsler 390.
Schlitz am Mikroskoptubus 386, 390.
Schloßmacher Beckesche Linie 555.
Schlüssel für Okularfäden 469.
Schmehlik 426.
Schmelzen, schwere von Bréon 693; Klein 693; Retgers 694, 695.

Schmidhuber 207.
Schmidt, Ed. 506 Anm. 1.
Schmidt, K. E. F. 567 Anm. 2.
Schmirgel 13.
Schmutzer 465.
Schneiderhöhn Chalkographie 597; Diagnose nach Dispersion 133 Anm. 1; Exnersches Mikrorefraktometer 547; Optischer Charakter 591; Polieren 35.
Schöner 758.
Schönescher Schlämmtrichter 704.
Schoorl Mikroreaktionen 744.
Schott u. Genossen, Glaswerk 339.
Schrank für Dünnschliffe 18.
Schraubenmikrometerokular 436.
Schrauf Mikroplakite 774; Okularkorrektion 478; Refraktionskonstante 62 Anm. 7, 69.
Schreiber 218 Anm. 1.
Schroeder v. d. Kolk Bariumnitrat 757; Bromoform 692; Einbettungsmethode 23, 544; Glyzerintröpfchen 625; Halbkugel 459; Härte 666; Jodmethylen 690; Konoskop 625; Körnerdimension 566; Mikroexisikkator 730; Mikroreaktionen 743, 748, 753, 757; Ammoniak 748; Nickel 753; optischer Charakter 584, 591; Platinschlinge 730; Pleochroismus 205; Pseudopleochroismus 197; schiefe Beleuchtung 546; schwere Lösung 690, 692; Strich 597; Theodolitmethode 459; Trennungen 718 Anm. 2.
Schulz Polarisationsprisma 238.
Schulze, F. 758 Anm. 1.
Schuster Stauroskopie 474.
Schusterkugel 241, 424.
Schwächung oder Absorption 48, 195.
Schwarz, v. 684.
Schwarzmann Rechenschieber 635.
Schwebemethode 678—685.
Schwefel 757.
Schwefelsäure 757.
Schwefelwasserstoff 757; Fällung 747.
Schwendener u. Nägeli Einkreisige Goniometer 458; Linsenoptik 253; Polarisationsmikroskop 382.
Schwere Flüssigkeiten 685—693; Acetylentetrabromid 692; Brauns 690; Church-Goldschmidt-Thoulet-Sonstadt 685; Clerici 692; Duboin 689; Klein 687; Muthmann 692; Retgers 691; Rohrbach 689; Schaffgotsch 685; Schroeder v. d. Kolk 690, 692.
Schwere Schmelzen Bréon 693; Klein 693; Retgers 694.
Schwietring 174 Anm. 1.
Schwimmermethode 695; Fehler 697.
Schwingung 45, 85, 142.
Schwingungen des Aethers 44; immer senkrecht zur Wellennormale 85.
Schwingungsdauer 45, 46, 47, 143; Konstanz 47.
Schwingungsebene am Polarisator 470.
Schwingungsebenen der Wellennormalen 113, 177.
Schwingungsebene des polarisierten Lichtes 84, 113, 219.
Schwingungsgesetz 45, 144.
Schwingungsrichtung 81, 84; der polarisierenden Prismen 238; Kurven gleicher — 172—176.
Seebeck 664.
Seelenachse des Mikroskoptubus 430.
Sehfeld, objektives 326, 342.
Sehweite, deutliche oder konventionelle 308, 309, 361.
Seibert u. Krafft Polarisationsmikroskop 382.
Seibert, W. u. H. Amicische Linse 399; Beleuchtungswechsel 371; Lupe 317; Mikroskop 398, 402; Mikroskopbau 396; Objektive 343; Projektions-Zeichenapparat 417; Zeichenspiegel 413.
Seidel, v. Objektive 288.
Seidengaze 701.
Seitenkollimator 456, 616.
Sekundäre Abbildung 326.
Sekundäre optische Achsen 117.
Sekundäres Interferenzbild 620.
Sekundäres Spektrum 303; Aufhebung 339.
Selektive Absorption 195.
Semiapochromat 341.
Sénarmont Anwachspyramiden 787; künstlicher Pleochroismus 209; Pleochroismus 197; Prisma 448; Quarzkeil 588; Salz 209.
Senkrechte Inzidenz 53, 79.
Sericit Färbung 737; und Talk 741, 746.
Shand Flächenmessung 445.
Sichertrog 702.
Siebsätze und Siebe 700, 701.
Siedentopf Cardioid-Kondensor 375 Anm. 1, 377; Fadenapertometer 356 Anm. 1; Färbungen 196; Linsenoptik 253; Mikroskopische Bilderzeugung 333 Anm. 1; Paraboloid-Kondensor 375 Anm. 1, 377; Quarzkeilkompensator 567 Anm. 1, 581.
Sigg 499.
Silber Spratzen 777.
Silberchromat-Reagens 739, 751.
Silbernitratschmelze 694.
Silicium 758.
Simmler 789.
Singuläre Achse 102.
Sinusbedingung 287, 295.
Sinuskurve 143.
Sinusschwingungen 142.
Sinusverhältnis 53.
Skalen von J. Möller 299, 430, 434, 437, 538.
Skiodromen 174.
Sklerometer 664.
Skolezitklasse 49 Anm. 2.
Smeeth Schwimmermethode 696; Trennungsapparat 716.

Smith, H. G. Auslöschungsschiefe 465.
Smith Gaußscher Spiegel 375.
Snellius-Descartes 53 Anm. 1.
Snellius' Gesetz 53, 219, 607; bei optischen Achsen 119; bei Weierstraßscher Konstruktion 292; bei Wellennormalen 611.
Société genévoise Mikroskopbau 396.
Société stenochromique 591.
Sodalicht 242.
Soda-Salpeterschmelze 753.
Soda-Schmelze als Reagens 746.
Sokol Methylenblaufärbung 737.
Soleil Doppelplatte 480; Kompensator 574; optische Anomalien 213.
Sollas Flächenmessung 442; Trennung 716 Anm. 1.
Somborn Elektromagnet 722.
Sommerfeldt Drehbare Nicols 402, 517; Gipszwilling 473; Jodmethylen 692; Justierung des Stauroskops 473; Kondensorskala 628; Konoskop 637; Lichtbrechung 554 Anm. 1; Rohrbachsche Lösung 689; Schwimmermethode 696; Skiodrome 172 Anm. 1; Spaltblende 625.
Sömmering 412.
Sonnenlicht 249.
Sonstadtsche Lösung 685.
Sorby Chaulnessche Methode 537; Dünnschliffe 12; Flüssigkeitseinschlüsse 783, 784, 795—797; Gaseinschlüsse 777, 784—785; Glaseinschlüsse 784, 790; Historisches 320; Schlackeneinschlüsse 784.
Sorbysches Phänomen 537—542.
Soret und Sarasin 477.
Southall Linsenoptik 254.
Souza-Brandão, de Achsenwinkel 603; Auslöschungsschiefe 465; Babinetscher Kompensator 572; Drehbare Nicols 402; Gaußscher Spiegel 378; Lichtbrechungsindikatoren 554 Anm. 1; Mikrorefraktometer 554; Skiodromen und Isogyren 174 Anm. 1; Spaltwinkel 663; Theodolitmikroskop 403; Winkelmessung 456.
Spaltapparat 4.
Spaltbarkeit 661—664: und Härte 666.
Spaltblende 625.
Spaltmörser 4.
Spaltrisse 662; Vollkommenheit 662; Winkel 663.
Spaltung des Glimmers 356.
Spangenberg Beckesche Linie 555, 563; Einbettungsmethode 549.
Spannung bei optischen Anomalien 213, 214; molekulare 778; in Sphärolithen 799.
Spannungsanomalien der Objektive 350, 469.
Sparsky 227.
Spektralapparat als Monochromator 246.
Spektrale Zerlegung des Lichtes 59.
Spektrallampe 244.
Spektrum 251; sekundäres 303.
Spezia blaues Steinsalz 196; Flüssigkeitseinschlüsse 794.
Spezial-Osramlampe 425.
Spezifische Refraktion 61.
Spezifisches Gewicht Bestimmung 671-699; Tabellen 812—813.
Spezifisches Brechungsvermögen 61.
Spezifisches Volumen 670.
Sphärische Aberration 289.
Sphärische Kristallaggregate 804.
Sphärische Linsen 258.
Sphärische Überkorrektion 290.
Sphärische Unterkorrektion 290.
Sphärokristalle 798, 801—804.
Sphärolithe 797, 798—800.
Sphérolithes à extinction 804.
Sphärometer 38.
Spiegel am Mikroskop 376.
Spiegelglas, Gaußsches 375, 378, 412, 526, 615.
Spiegelglasplatte zum Schleifen 13.
Spiegelparaboloid 258.
Spitze Bisektrix 122; Bestimmung der Lage 187, 647.
Splitgerber 320.
Spodumen optische Achsen 610.
Spratzen des Silbers 777.
Sprünge, Verwechslung mit Trichiten 773.
Stablinsen 256.
Stäckel Polarisationsprisma 225; Schwimmermethode 698.
Stangenwerk für Nicoldrehung 400—402.
Stanhopesche Lupe 311.
Stark Brechungsindizes von Gesteinsgläsern 74; Mallardsche Konstante 630 Anm. 1.
Stärke der Doppelbrechung 126, 133, 566, 567, Taf. I.
Stativ nach Berger 396; nach Hartnack-Oberhäuser 396.
Stativlupe 316.
Stauroskop 475.
Stauroskopische Methoden 464—497; Genauigkeit 485.
Steeg u. Reuter Erhitzungsmikroskop 405; Heliostat 248; Lichtfilter 240; Mikroskopbau 396; Polarisationsprismen 238.
Steenstrup Präparation von Tonen 24; Schlagfigurenapparat 6.
Stehende Lichtwellen 84.
Steinheil Objektive 288.
Steinheilsche Lupe 311.
Steinheil u. Voit Linsenoptik 253.
Steinmann 7.
Steinriede 703 Anm. 1.
Steinsäge 6.
Steinsalzeinschlüsse 795.
Steinschneidemaschine 6.
Stelzner Einschlüsse 792; Sphärokristalle 801.
Stephenson, E. Immersion 341.
Stephenson, E. A. 445.
Stereoskopische Camera 314.
Stereoskopische Lupe 314.

Stickstoff 757.
Stickstoffeinschlüsse 793.
Stöber Doppelplatte 478; Justierapparat 656; Kondensor 461; Orientiertschleifen 26, 34; Präparation von Pulver 24; Trennungsapparat 714; Totalreflektometer 653.
Stoë Nachf. Elektromagnet 722; Indikatoren 707, 708; Wage von La Touche 847.
Stoffliche Natur der Einschlüsse 788.
Stokes Fluoreszenz 211; Sorbysches Phänomen 538.
Stone cavities 784.
Strahl 45; Strahl und Wellennormale 85, 87; reflektierter und gebrochener Strahl 55; ordentlicher und außerordentlicher Strahl 74.
Strahlenachsen 116.
Strahlenbündel 123 Anm. 1.
Strahlenbüschel 138 Anm. 1; bei Abbildungen 287; bei konvergentem Licht 138, 613.
Strahlenfilter 239.
Strahlenfläche bei isotropen Medien 52; bei anisotropen Medien 98, 124.
Strahlengang bei Beckescher Methode 556, 558, 559; Einbettungsmethode 545; Fernrohr 611; Konoskop 620, 628; Lupe 305—310; Mikroskop 322—326; Totalreflexion 659.
Strahlengeschwindigkeit in beliebiger Richtung 86.
Strahlengeschwindigkeitsfläche (Huygenssche Strahlenfläche) 52; bei einachsigen Kristallen 75, 86, 98; bei zweiachsigen Kristallen 104, 124.
Stratanowitsch 498, 502.
Straubel Quarzdoppelprisma 250.
Streifende Beleuchtung 656.
Streifende Inzidenz 656.
Streng Ammoniak-Reaktion 748; durchbohrtes Deckglas 732; Dünnschliffreaktion 732; Ferrocyanbarium-Kalium 750; Filtration 731; Mikroreaktionen 743, 747, 748, 757, Barium 750, Salpetersäure 757, Zinn 759 Anm. 3; Molybdänphosphat 757; Schwefelwasserstoffällung 747; Schwimmermethode 696; Uranylacetat-Reagens 748; Wasserbad 745.
Streuvorrichtung 318, 728.
Strich 597.
Strontium 750; Strontiumchromat 749.
Struktur zonare 774—775.
Struvit 751.
Struvitklasse 49 Anm. 2.
Stufenmikrometer 438.
Stumpfe Bisektrix 122.
Stundenglasformen 776.
Subtraktionserscheinungen 156.
Subtraktionslage 155.
Suida Mineralfärbung 737.
Sulfide Löslichkeit 734.
Surface charactéristique 125.
Surface d'élasticité 124.
Surface de l'onde 124.
Surface des vitesses normales 124.
Surface d'élasticité à deux nappes 124.
Surface of components of normal slowness 125.
Surface of ray velocities 124.
Surface of refraction 125.
Surfac of wave velocities 124.
Surirella Gemma Ehrbg. 349.
Suschinsche Lösung 689 Anm. 2.
Suspensionsmethode 678—685; mit Schwimmer 695—699.
Swift and Son Amicische Linse 211; drehbare Polarisatoren 393; Mikroskopbau 396.
Symmetrieklassen 49.
Symmetrie, optische 48.
Symmetrische Achsenlage 191.
Systeme achromatische 301, 342; aplanatische 291, 294; Fluorit- 341, 342; homogene Immersions- 346; Immersions- 341, 342; Trocken- 341, 342.
Szilard 208 Anm. 2.
Szivessy 575.

Tabellen Abweichung von Strahl- und Wellennormale 90; Brechungsindex des Wassers 603; Brechungsindex von α-Bromnaphtalin + Jodmethylen 552; Brechungsindizes gesteinbildender Mineralien 810—811; Dichte 814—815; Dispersion der Doppelbrechung des Quarzes 573, von Wasser 603; Doppelbrechung 812—813; Faktoren für den Libellendreifuß 31; Grenzwinkel 54; mittlere Lichtbrechung doppelbrechender Medien 65; Molekularrefraktion 72; Molekularvolumina 672; numerische Aperturen am Glimmeraperotometer 357; optisch einachsige Kristalle 76; relative Dispersion 60; Umwandlung von num. Apertur U in Winkel 2 V 358; Wellenlängen der Fraunhoferschen Linien 252; Zirkularpolarisation des Quarzes 477.
Talbotsche Streifen 135.
Talk Färbung 737; und Sericit 741, 746.
Tammes Mikroskopierlampe 425.
Tantal 760.
Taschenlupen 316.
Teall 702.
Teinte de passage 132.
Teinte sensible 132.
Teleskopische Linse 257.
Temperatur, Einfluß auf optisches Verhalten 216.
ten Siethoff Achsenbild 175; Halbkugel 459; Schwingungsrichtungen 174, 176 Anm. 1, 187.
Tertsch Achsenwinkelmessung 637; Auslöschungsschiefe 465; isochromatische Flächen 168 Anm. 1; Plagioklase 510;

Skiodromenmodell 176; Zeichenokular 637.
Testplatte 348.
Tetragonale Kristalle 50, 102, 176, 216.
Thallium-Formiat-Mallonat 692.
Thalliumlicht 242.
Thalliumquecksilbernitrat 695.
Thalliumsilbernitrat 694.
Thalliumsulfat 760.
Thalliumwolframat 760.
Thermolumineszenz 41, 210.
Theorie der Kristalloptik 41—218.
Theodolitmethode 498—532.
Theodolitmikroskop 516.
Thilorier 789—790.
Thompson Modell der Schwingung des pol. Lichtes in Kristallen 83; Prisma 227 Anm. 8.
Thompsonsches Prisma 227.
Thorium 755.
Thorium bei pleochroitischen Höfen 208.
Thörner 600.
Thoulet Aspirationsapparat 728; Aussuchen 728; Chagrin 565; Einbettungsmethode 565; Lösung 678, 685; Microscope à distance 730; Polieren 35; Präparation von Pulver 24; Schwimmermethode 695; Spaltwinkel 663; Totalreflektometer 649 Anm. 1; Trennungsapparat 711—712; Winkelmessung 451.
Thugutt Calcitreaktion 750, 751; Calcit und Zeolithe 742; Methylenblaufärbung 737.
Thürach 702.
Tiefrot 132.
Tietschert 703 Anm. 1.
Tinktionsmethode 734—738.
Tischachse 429.
Tisch, drehbarer 382, 384, 387, 446.
Tischmikrometer 370, 387, 399, 436, 446, 450 Anm. 1; nach Shand 445.
Titan 758.
Titaneisen Färbung 747.
Titanit Färbung 747.
Titansäure 758.
Tolles 355.
Tonerde 40, 754.
Tonnenform bei Abbildung 299, 300.
Tonschiefernädelchen Dicke 566.
Tonschlämmung 702.
Topas Flüssigkeitseinschlüsse 778.
Törnebohm 753.
Totale Dispersion 59.
Totalreflektometer 649—661; Beleuchtung 656; Herrichtung zum Gebrauch 653—656; Messung 656.
Totalreflexion 53, 54; bei Immersionssystemen 347.
Toula 665.
Toula-Rosiwalsche Methode 666.
Tränkung im Vakuum 20.
Translation 663.
Transversalmaßstab 451.
Traube Halbschattenplatte 484; pleochroitische Höfe 206.
Trautz Lumineszenz 212.
Travis 154.
Trennung durch Aussuchen 728; auf chemischem Wege 726—728; auf elektrostatischem Wege 725—726; Magnet 719—725; schwere Flüssigkeiten 706—717 und Schmelzen 717—718; Wasser 701—706.
Trennungsapparate 705—718; einfache 708; feinere 710; für schwere Schmelzen 717; mit Wiederholung 712.
Trennungsmethoden 700—728.
Tribolumineszenz 42, 210, 211.
Trichite 773.
Trichroismus 200.
Tridymit Färbung 738; und Zirkon 759.
Trigonale Achsenpräparate 153.
Trikline Kristalle 123; Achsenpräparate 153, 154; Änderungen mit der Temperatur 217; Dispersionserscheinungen 194.
Tripel 40.
Trockensysteme 341, 344; Äquivalentbrennweite und Apertur 342; Gesichtsfeld 618; Prüfung 347.
Trogapparat 459.
Trolle 134.
Tschermak Achsenaustrittmessung 609; Ätzfiguren 739: Beleuchtungswechsel 374; Historisches 320; isomorphe Schichtung 775; Konoskop 614; mimetische Kristalle 215, 766; Pleochroismus 596.
Tschugaeff Nickelreagens 754.
Tubusachse 429.
Tubusanalysator 389—391.
Tubuseinstellschraube 382, 393, 396, 397, 439.
Tubusführung 382, 396.
Tubuslänge mechanische 364, 388; optische 364, 394.
Tubusmikrometerschraube 382, 393, 396, 397; Kalibrierung 439—441.
Tubus mit 3 Rohren 389.
Tubusnicol 389—391.
Tućan Kalkreaktion 750.
Turmalin Glühen 741.
Turmalinplatten als Polarisatoren 221.
Turmalinzange 221.
Turnersche Probe 758.
Tutton Monochromator 246; Schleifapparat 26.

Übergangsfarben 132.
Überkorrektion 290.
Übernormale Farben 135.
Übersicht der Bezugsflächen einachsiger Kristalle 98—99; zweiachsiger Kristalle 124—125.
Übersicht der optischen Medien 50—51.
Überverbesserung 291, 305.

Uhlig 577.
Uhrmacherlupe 315.
Ultramarinverbindungen 741 Anm. 3.
Ultraviolett—Monochromator 250.
Umrisse der Kristalldurchschnitte 764.
Umwandlung des Mikroskops zum Konoskop 619.
Undulationstheorie 43.
Undulöse Auslöschung 806.
Undurchsichtige Mineralien 596; ihre Untersuchung 596—600.
Unendlichkeit bei Fernrohren 612.
Ungeübte Mikroskopiker 361.
Universaldrehapparate 463—464.
Universalinstrument 617 Anm. 2.
Universalklammer am Fokometer 282.
Universalmethode 498—532; Ausführung 527—532: Diagramm der Feldspatzwillinge 502, 504, Taf. III; Fedorowsches Diagramm 504—514; Fedorowsches Mikroskop 514—521; Justierung des Mikroskops 521—527; Literatur 498—499; Theorie 499—504.
Universaltisch Fedorow älteste Form 500; neuere Formen 461, 462, 463, 464, 500, 519, 537; schematisch 519.
Untchj 719.
Unterbau für Mikroskop 285.
Unterkorrektion 290; bei Objektiven 345; Aufhebung durch Deckglas 345.
Unternormale Farben 136.
Unterverbesserung 291, 305.
Uranylacetat-Reagens 748.
Ussing 739.
Ussof Feldspat-Diagramm 499, 502.
UV-Filterlampe 241.

Vakuumtränkung 20.
Valentin 461.
Valette 591.
Vanadin 761.
Van der Veen Auslöschungsschiefe 465, 466; Doppelplatte 478.
van Heurck 425.
van Leeuwenhoek 318, 375.
van Werveke Kleinsche Lösung 688; Regeneration schwerer Lösungen 686, 688; Sanduhrformen 776; Scheidetrichter 709; Silicium-Reaktion 758; Thouletsche Lösung 686.
Vapour cavities 777.
Variolite 803, 804.
Variolitische Ausbildung 801.
Vater, H. Kristallite 772 Anm. 2.
Veit 663 Anm. 3.
Vektor des Lichtes 46, 84.
Vektoren 46, 84; Bestimmung ihrer Lage 464—532, 583.
Vendl 510.
Vérain und Chevallier 721, 724.
Verant-Lupe 312.
Verbiegungen der Einsprenglinge 805.
Verbrennen von Graphit 741.
Verdet 103.
Verdet-Exner 75 Anm. 2.
Vereinsformat 18.
Vergleichsmikroskop 599.
Vergrößerung chromatische Differenz 340; der Linse 278; der Lupe 307—309; des Fernrohrs 613; des Mikroskops 434—435; geringste beim Mikroskop 337.
Véritable bei Achsenwinkel 601.
Verkleinerung 613.
Vertikal-Illuminator 378—381, 456, 597.
Vervuert 685.
Verwachsungen 786.
Verwerfungen 806.
Verzeichnung der Bilder 299.
Verzerrung der Abbildungen 289.
Vesuvian anomale Interferenzfarben 133.
Vierfache Quarzplatte 480.
Viertel Undulations-Glimmerblatt 156; Glimmerkeil 581.
Viola Achsenwinkelapparat 617; Beckesche Methode 554 Anm. 1, 504; optischer Charakter 584; Totalreflektometer 653; Universalinstrument 617 Anm. 2; Zwillingskristalle 157 Anm. 1.
Violett, empfindliches 132, 476, 581, 585; bei Quarzplatte 477.
Vogelsang Aggregate 801; Dünnschliffe 12; Flüssigkeitseinschlüsse 790—792; Globulite usw. 769—772; Glühreaktion 741; Historisches 318 Anm. 2, 320; Kristalle in Einschlüssen 796; Kristallite 769; Mikrolithe 774; Sphärokristalle 801; Ultramarinverbindungen 741 Anm. 3.
Voigt Absorption 197, 200, 201, 203; Konische Refraktion 119, 154; Krumme Flächen 36.
Voigtländer 359.
Voigt und Hochgesang Amicische Linse 391, 615, 623; Dünnschliffe 20; Erhitzungsmikroskop 404; Kollolith 15; Laspeyressche Lupe 622; Mikroskop 389, 390; Mikroskopbau 396; Tischmikrometer 395; Universaldrehapparat 464.
Volkmann Aperturscheibe 352.
Volumenometer Paalzowsches 673; Oberbecksches 675.
Volumen, spezifisches 670.
vom Rath Historisches 320.
Vorderrand 569.

Wachstum der Kristalle 762.
Wachstumsachsen 763.
Wachstumsform 764.
Wachstumsgeschwindigkeit 787—788.
Wage, hydrostatische 673, 843.
Wägerohr Linck 709; Penfield 673, 674.
Wahnschaffe Schlämmtrichter 705; Schlämmzylinder 703 Anm. 1.
Wahrer Achsenwinkel 119—122, 601—611.
Walldow 337 Anm. 2.

Wallerand Gaußscher Spiegel 375; Sphärolith 800; Totalreflektometer 649 Anm. 2; Verdopplung der Dicke des Präparats 580; Verwachsungen 786.
Wandersleb Linsenoptik 253.
Wanderung der isochromatischen Kurven 648.
Wandkonsole 28.
Wasserbad nach Streng 745.
Wasser Brechungsindex 603.
Wasserimmersion 341.
Wasser in Einschlüssen 788—794.
Wasserstoffröhre 244.
Wasserstoffsuperoxyd als Reagens 758; zur Regeneration der Kleinschen Lösung 688.
Websky -Fueßsches Goniometer 457; Goniometer als Achsenwinkelapparat 616; Interferenzkreuz 802; Sphärokristalle 802.
Wechsel der Beleuchtung 369—376, 400.
Wegdifferenz = Gangunterschied 128, 141, 566, 569, 579, 581, 582.
Weierstraßsche Konstruktion 292.
Weinschenk Aussuchen 728; Beleuchtungswechsel 370 Anm. 1; Justierung des Stauroskops 471; Lupe 318, 728; Quarznadeln 472; Totalreflektometer 649 Anm. 1.
Weiß, Ch. E. Optische Änderungen mit der Temperatur 217.
Weiß der höheren Ordnung 135, 470.
Weißes Licht 58.
Weit geöffnete Strahlenbüschel 287—300.
Weitsichtigkeit und Okular 362.
Weitwinkelobjektiv 288.
Wellen 45; ebene Wellen 54; einhüllende Wellen 54; elementare Wellen 43; Kugelwellen 43, 613; ordentliche und außerordentliche Wellen 89.
Wellenebene 85.
Wellenfläche gleich Strahlenfläche nicht gleich Wellengeschwindigkeitsfläche 98; Fresnelsche 98; Wölffings Bericht 123.
Wellenfront 45.
Wellengeschwindigkeit in beliebiger Richtung 88, 115; invers zum Brechungsindex 86.
Wellengeschwindigkeitsfläche (nicht Wellenfläche im gebräuchlichen Sinn) 52; bei einachsigen Kristallen 87—89, 98; bei zweiachsigen Kristallen 107.
Wellenlänge 45, 46, 47, 57; und Brechungsindex 56.
Wellennormale 52; und Lichtstrahl 52, 85, 87; Konstruktion und Berechnung 87, 88; und Schwingungsebene 85.
Wellenoberfläche 45.
Wenham 375.
Wenzel empfindliche Farbe 585; Interferenzfarben 134, 136.
Werkstoffuntersuchung 597.
Wertheim 450.
Westphal, O. 40, 218 Anm. 1.
Westphalsche Wage 679, 708; Eichtemperatur 681.
Whittle 206.
Wichmann 23.
Wiedemann zweifacher Doppelquarzkeil 483.
Wiener, Chr. 783.
Wiener, O. 63, 84.
Wiesner 758 Anm. 1.
Wilsonsche Lupe 311.
Winkel Messung ebener W. 446—449; Messung räumlicher W. 449—458; der optischen Achsen 119—122, 601—607; der Spaltrisse 663.
Winkelempfindlichkeit des Auges 288, 337.
Winkelmanns Handbuch der Physik Linsenoptik 254; Refraktionskonstante 64.
Winkel, R. Awi-System 201, 618; Fluoritsystem 341; Kondensor 369; Mikroskopbau 396; Mikroskope 399, 400, 403; Objektführapparat 421; Objektive 343, 346; Objektmarkierer 422; photographische Camera 419, 420; Steinschneidemaschine 8; Wechsel der Beleuchtung 371; Zahnstangenteilung 282; Zeichenspiegel 414, 415.
Winkel-Wülfingsches Mikroskop 322, 400, 623.
Wirklicher Achsenwinkel 601.
Wirkung des Deckglases 344.
Wirt 776.
Wisniowski 18 Anm. 1.
Witham 11.
Wöhler 196.
Wolf, J. E. Balsam 14; Indikatoren 708.
Wolff, v. Konoskop 620 Anm. 1.
Wölffing 123.
Wolfram 760.
Wollaston Camera lucida 412; Lupe 311; Prisma 237, 448; Prismenmethode 649; Reflexionsgoniometer 447; Totalreflektometer 649; Zeichenapparat 412.
Wolz Beleuchtungsglasstab 423; Orientierte Schliffe 26; Zirkularschneidemaschine 7.
Woodsche Absorptionsfilter 211, 241.
Woodsche Legierung 35.
Woyno 649.
Wratten und Wrainwright Lichtfilter 241.
Wright, A. W. Stickstoffeinschlüsse 793.
Wright, F. E. Achsenwinkel 578, 603, 637, 647; Apertometer 635; Asbestdraht 242; Auslöschungsschiefe 465, 474, 492; Beckesche Linie 555; Bügel am Drehtisch 520; Diaphragmenschieber 546; Doppelquarzkeilplatte 485; Doppelschraubenmikrometerokular 436; Einbettungsflüssigkeiten 550 Anm. 2; Einlaßöffnung am Gaußschen Spiegel 375; Erhitzungsmikroskop 406; Gaußsches Spiegelglas 375; Glaskügelchen 640; graphische Lösung bei

isochromatischen Flächen 168 Anm. 1; Justierung des Stauroskops 474; Kleinsche Bügel 520; Kombinationskeil 587, 588; Konoskop 619; Linsenoptik 254; Mallardsche Konstante 630 Anm. 1; Mikrorefraktometer 554; orientierte Schliffe 26; Polarisatorstellung 470; Quarzdoppelkeil 479; Quarzzwillingsplatte 484; Quecksilbertröpfchen 640; Spaltblende 625; Totalreflektometer 653.
Wulff, G. Brechungsindex von Mischungen 66; Geometrie der Doppelbrechung 162; Kitt 35; Netz bei Fedorowschem Diagramm 509 Anm. 1; Orientierte Schliffe 26, 34; Subtraktionslage und Absorption 156; Winkelmessung 447.
Wülfing Absorption 199 Anm. 1; Achsenaustrittsmessung 609; Achsenkreuz der Plagioklase 506; Achsenwinkelapparat 614—617; Ätzfiguren 739 Anm. 4; Awi-System 201, 618 Anm. 1, 633, 634; Babinetscher Kompensator 573; Beleuchtungswechsel 369, 400; Brennfläche 630; Chemische Trennung 728; Diaphragma 624; Dickenmessung 576; Dolomitreaktion 752 Anm. 2; Drahtsäge 7; Elektromagnet 722; empfindliche Farbe 585; Eosinlicht 240; Färbung 196; Fehler bei Schwimmermethode 697; Fokometer 281; Gaußsche Hauptebenen 271; geometrische Gesteinsanalyse 446; Glimmerapertometer 356; graphische Lösung 604, 658; Historisches 321; Kanadabalsam 14; Kittofen 15; Kontrastchromator 592; Lage der optischen Achsen 608—611; Laspeyressche Lupe 622; Mallardsche Konstante 629—635; Markierapparat 422; Monochromator 246, 250; neues Polarisationsmikroskop 322, 623; numerische Apertur 185 Anm. 1, 603 Anm. 4; Objektivprisma 440; Optik der Plagioklase 510; optische Bank als Apertometer 351; pleochroitische Höfe und Doppelbrechung 209; Polarisationsinstrument 617 Anm. 3; Schleifapparat 26; Schleifmaschine 38; Schneidemaschine 9; sehr dünnes Glimmerblättchen 350; Seitenkollimator 616; Spaltmörser 4; Symmetrieklassen 49—51; Tränkung im Vakuum 20; Trennungsapparat 715, 716; Unterbau für Mikroskope 285; Variation des Nicolschen Prismas 226; verstellbarer Okularring 468; Winkelmessung 456 Anm. 2; Zählrädchen 398; Zahnstangenteilung 282, 388; Zwickzange 5.
Wülfing-Winkelsches Mikroskop 322, 400, 623.
Wüllners Experimentalphysik 64.
Würfel, Bertrandscher 453.
Würfelchen nach Abbe 413, 434, 578.
Wydler 701.
Wyrouboff 751 Anm. 3.
Young Interferenz 43; Phasensprung 128; Schwingungsebene 46.
Youngs 407.
Yttrium 755—756.

Zählrädchen 397, 398, 438.
Zahnstangenachse der Beleuchtungsvorrichtung 429; des Tubus 429.
Zahnstangenteilung 282, 388, 438.
Zechini 64.
Zedernholzöl 293.
Zehnder 62 Anm. 10.
Zeichenapparate 412—419.
Zeichenokular nach Leitz 416; nach Tertsch 637.
Zeichenprisma nach Nachet-Nobert 415.
Zeichenspiegel 413; mit Lupenstativ 415; nach Edinger 418.
Zeichentisch nach Bernhard 419.
Zeiger-Doppelokular 366.
Zeiß Achromate 343; Amicische Linse 390; Apochromate 340, 343; Beleuchtungsvorrichtung 424; Binokulare Lupe 313; Diffraktionsapparat 333; Doppelplatte für Stauroskop 478; Kompensationsokulare 365; Kondensor 373; Lupen 311; Metallmikroskop 598; Mikroskop 387; Mikroskopbau 396; Mikroskopierglühlampe 243; Linsenoptik 253; Objektive 343; Objektiv-Schlittenwechsler 391; Verantlupe 312; Zeichenspiegel 414.
Zelluloid Maßstab 284; Täfelchen 730.
Zemczuzny 26.
Zenger 449.
Zenker 237.
Zentrale Interpositionen 787.
Zentrale sphärische Aberration 289—294.
Zentrierung des Fedorowschen Mikroskops 522; des Objektivs 385.
Zentrierschrauben 385.
Zentrifuge 731.
Zentrum der Symmetrie 49.
Zeolithe Änderung bei Erhitzung 216 Anm. 6; Färbung 738; Präparation 16; und Calcit 742.
Zepharowich 801.
Zerbrechen 661.
Zerbrechungen der Einsprenglinge 805.
Zerdrehen 661.
Zerdrücken 661.
Zernagung 807.
Zerreißen 661.
Zerstreuungslinse 254.
Zerstreuungspolarisator 221.
Zimmermann Linsenoptik 253.
Zincken 319.
Zinn 759.
Zinnasche 40.
Zinnjodid in Arsenbromür 691.
Zinnsäure 759.
Zinnstein Färbung 747.

Zirkel Aggregate 801; Axiolithe 800; Basis bei Gesteinen 771 Anm. 1; Belonite 774; Dünnschliffe 12; Einbettungsflüssigkeit 553; Einschlüsse 784, 785, 795; Historisches 318 Anm. 2, 320; Kristalle in Einschlüssen 795, 796; Mikrolithe 774; Trichite 773; Vogelsangs Kristallite 769.
Zirkon 759.
Zirkonsäure 759.
Zirkularpolarisation 49, 126; des Quarzes 477.
Zirkularschneidemaschine 7.
Zonare Interpositionen 787.
Zonare sphärische Aberration 294.
Zonare Struktur 774.
Zone optischer Charakter 590.
Zoisit anomale Interferenzfarben 133.
Zschimmer-Hillebrand 677 Anm. 1.
Zsigmondy Cardioid-Kondensor 377; Pleochroismus 210.
Zweiachsige Kristalle 103—126; Erhitzung 217; Interferenzerscheinungen 181—194; optische Charakteristik 126; optischer Charakter 121; parallel zur Achsenebene 187; schiefe Schnitte 187; senkrecht zu den Bisektrizen 182—185; senkrecht zu einer optischen Achse 185—197.
Zwei anisotrope Blättchen übereinander 154—156.
Zweikreisige Goniometer 34, 461—464.
Zweite Bisektrix 122.
Zweites Ellipsoid 125.
Zweiunddreißig Klassen 50—51.
Zwickzange 5.
Zwillingskompensator 574.
Zwillingskristalle 765; im parallelen polarisierten Licht 156.
Zwillingslamellen 156.
Zwischenachsen 763.
Zylinderlinse 254.
Zylinder von Bertrand 455.

LIBRARY
UNIVERSITY OF ILLINOIS
URBANA

Berichtigungen und Nachträge.

Seite 11, Zeile 1 von unten ist einzuschalten, daß auch der Optiker And. Pritchard schon 1832 Dünnschliffe herstellte und in den Handel brachte. N. J. 1842. 154—155.

„ 111, Zeile 6 v. u. lies: λ statt λ^2.

„ 129, Zeile 11 v. u. lies: Form statt Formel.

„ 130, Anm. 1 lies: Rollet statt Bollet.

„ 132, Zeile 2 v. u. lies: Cesáro statt Cesaro.

„ 139, Zeile 12 v. o. lies: fünfter statt siebter.

„ 139, Anm. 1 ist zu ergänzen: Die Apertur von Fixsternen ist neuerdings ermittelt und beträgt z. B. bei α Bootis (Arktur) $^1/_{40}$ Bogensekunde.

„ 147, Zeile 6 v. u. lies: cos (A—B) statt (cos A—B).

„ 150, Zeile 6 v. o. lies: fünfte Abteilung, zweites Kapitel statt sechste Abteilung, sechstes Kapitel.

„ 156, Zeile 23 v. o. lies: Abteilung 5, Kapitel 2 statt Abteilung 6, Kapitel 9.

„ 163, Zeile 11 v. u. lies: $\frac{a+c}{2}$ statt $\frac{a_1+c_1}{2}$.

„ 165, Fig. 116 lies am Bogen NB: φ' statt φ.

„ 168, Zeile 4 v. u. ist das Wort oder zu streichen.

„ 168, Zeile 5 v. u. lies: § 51 statt § 50.

„ 176, Zeile 13 v. u. fehlt vor der eckigen Klammer $\sin^2$.

„ 192, Zeile 22 v. o. lies: auch V_r statt auch V_v.

„ 238, am Schluß des § 78 ist noch auf ein Nicolsystem von E. v. Fedorow hinzuweisen. Z. X. **37.** 1903. 413.

„ 263, Zeile 11 v. u. lies: P_2 und P_3 statt P_1 und P_2.

„ 275, Zeile 1 v. o. lies: e'_3, $\mathfrak{h}_1$ statt e_3' $\mathfrak{h}_1$.

„ 275, Zeile 2 v. o. lies: e_1' statt e_2'.

„ 289, Zeile 9 v. o. lies: Distorsion statt Distortion.

„ 301, Zeile 4 v. o. lies: Dollond statt Dolland.

„ 319, Zeile 16 v. o. lies: Daubenton statt d'Aubenton.

„ 343, Figuren 310—320: Das Zeichen „ ist hinter den Zahlen für U zu streichen.

„ 345, Figuren 322—324: „ „ „ „ „ „ „ „ „ „ „

„ 353, in der Überschrift der Tabelle lies: Fig. 327 statt Fig. 325.

„ 353, Zeile 8 v. u. lies: Zwischenwerte statt Zwischenweiten.

„ 396, Zeile 23 v. o. lies: Oberhäuser statt Oberhäußer.

„ 443, Zeile 6 v. u. lies: Meßmethode statt Maßmethode.

„ 485, Zeile 6 v. o. fehlt eine Schlußklammer hinter S. 479.

„ 492, Zeile 9 v. o. ist zu ergänzen, daß Alfred C. Lane die betreffende Formel zuerst aufgestellt hat.

„ 487—489, 492, 493 lies im Text w statt ω.

„ 496, Zeile 3 v. o. lies: F statt ω.

„ 510, sind die Kolonnenbezeichnungen λ und φ bei A zu vertauschen.

„ 510, in der Kolonne Beobachter lies: Luczizky statt Luczisky.

„ 511, in der Kolonne unter B sind die Vorzeichen zu berichtigen und zwar

bei φ lies: − − + + + + + − −
statt: − − − − − − − − −
bei λ lies: − − + + + + + − −
statt: + + + + + + + − −

„ 673: In § 178 ist noch eine zur Bestimmung der Dichte von Gesteins-Handstücken von T. H. D. La Touche konstruierte Wage zu erwähnen. „Nature“. **77.** 1907/08. 221. An einer ungleicharmigen Hebelwage bringt man das am kurzen Arm in Luft hängende Handstück ins Gleichgewicht mit einem am Ende des langen Balkens hängenden mit Schrot passend gefüllten Körbchen. Nach dem Eintauchen des Handstückes in Wasser stellt man das Gleichgewicht der Wage dadurch wieder her, daß man den Aufhängepunkt des Körbchens verschiebt und das Maß dieser Verschiebung an einer Teilung des langen Armes abliest. Wenn das Körbchen bei dem Handstück in Luft am Hebelarm b_1 und bei dem Handstück unter Wasser am Hebelarm b_2 wirkt, so ist die Dichte D des Handstücks

$$D = \frac{b_1}{b_1 - b_2}.$$

Diese Wage wird von P. Stoë Nachf. in Heidelberg gebaut.

LIBRARY
UNIVERSITY OF ILLINOIS
URBANA

Rosenbusch, H., **Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine.** Ein Hilfsbuch bei mikroskopischen Gesteinsstudien.

Band I. **Die petrographisch wichtigen Mineralien.** 1. Hälfte. Untersuchungsmethoden. 5. Aufl. Von E. A. Wülfing. Gr. 8°. XXIII, 844 Seiten mit 680 Textfiguren und 15 Tafeln. 2. Hälfte. Spezieller Teil. Von H. Rosenbusch. (Die 5. Auflage bearbeitet von O. Mügge befindet sich z. Zt. in der Drucklegung.) Mit einem Anhang: Tabellen zur mikroskopischen Mineralbestimmung.

Band II. **Massige Gesteine.** Von H. Rosenbusch. 4. Auflage. 1. Hälfte. Tiefengesteine und Ganggesteine. 2. Hälfte. Ergußgesteine. Mit 4 Tafeln.

Rosenbusch, H., **Hilfstabellen zur mikroskopischen Mineralbestimmung.** Gr. 8°. In Futteral.

Rosenbusch-Osann, Elemente der Gesteinslehre. Vierte neubearbeitete Auflage. Gr. 8°. 780 S. mit 115 Textfiguren und 3 Tafeln. Brosch. und geb.

Osann, A., **Beiträge zur chemischen Petrographie.**

I. Teil. Molekularquotienten zur Berechnung von Gesteinsanalysen. 4°. 1903. (202 S.)

II. Teil. Analysen Eruptivgesteine aus den Jahren 1884—1900. Mit einem Anhang: Analysen isolierter Gemengteile. 4°. 1905. (530 S.)

Brauns, R., **Die kristallinen Schiefer des Laacher Seegebietes und ihre Umbildung zu Sanidinit.** Gr. 4°. In Mappe. 61 Seiten mit 68 Figuren auf 18 Tafeln.

Cohen, E., **Sammlung von Mikrophotographien zur Veranschaulichung der mikroskopischen Struktur von Mineralien und Gesteinen.** Dritte Auflage. Ausgabe in Lichtdruck. 80 Tafeln mit 320 Abbildungen. 4°. In Mappe.

Cohen, E., **Zusammenstellung petrographischer Untersuchungsmethoden** nebst Angabe der Literatur. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. 8°. (54 S.)

Klein, C., **Einleitung in die Kristallberechnung.** Mit 196 Holzschnitten und 12 Tafeln. Gr. 8°. (VI. 393 S.)

Nies, A., **Allgemeine Kristallbeschreibung** auf Grund einer vereinfachten Methode des Kristallzeichnens bearbeitet und mit einer Anleitung zur Anfertigung der Kristallnetze und Kristallmodelle. Mit 182 Figuren im Text. 8°. (XVI. 176 S.)

Bubnoff, S. v., **Die Grundlagen der Deckentheorie in den Alpen.** Gr. 8°. 1921. 149 Seiten mit 45 Textfiguren.

ang, R., **Verwitterung und Bodenbildung als Einführung in die Bodenkunde.** 8°. 1920. 188 Seiten mit 8 Textabbildungen.

mon, W., **Grundzüge der Geologie.** 1. Abteilung. Allgemeine Geologie. Teil I, Innere Dynamik, Teil II, Aeußere Dynamik. Gr. 8°. a. 750 Seiten mit zahlreichen Abbildungen. (2. Abteilung: Erdschichte im Druck.)

Karl, **Erdöl** — Oelvorkommen, Oelförderung, Oelschiefer, Oel- — Gr. 8°. 86 Seiten.